



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

DESAIN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN 13 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN

TRIA CIPTADI
NRP.3116 040 530

Dosen Pembimbing
RIDHO BAYUAJI, ST, MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**DESAIN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN 13 LANTAI
DENGAN MENGGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN**

**TRIA CIPTADI
NRP.3116 040 530**

**Dosen Pembimbing
RIDHO BAYUAJI, ST, MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



FINAL APPLIED - RC145501

THE STRUCTURAL DESIGN OF 13 STORIES APARTMENT BUILDING USING PRESTRESSED BEAM METHOD

TRIA CIPTADI
NRP.3116 040 530

Supervisor
RIDHO BAYUAJI, ST, MT, Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

DIPLOMA IV CIVIL INFRASTRUCTURE
ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN 13 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan
Pada

Program Studi Diploma4 Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Juli 2017

Disusun Oleh :
Mahasiswa

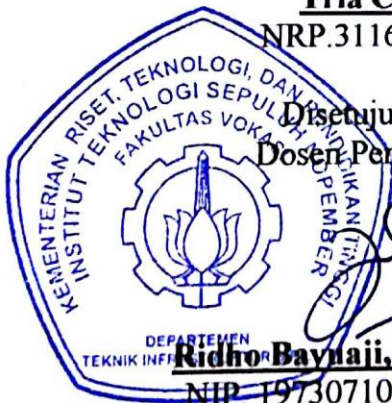


Tria Ciptadi

NRP.3116 040 530

Disetujui Oleh :
Dosen Pembimbing

28 JUL 2017



Ridho Bayuaji, ST, MT, Ph.D

NIP. 19730710 199802 1 002

DESAIN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN 13 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN BALOK BETON PRATEKAN

Nama Mahasiswa : Tria Ciptadi
NRP : 3116 040 530
Jurusan : Diploma 4 Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi ITS
Dosen Pembimbing : Ridho Bayuaji, ST, MT, Ph.D

Abstrak

Gedung Apartemen Puncak Merr merupakan gedung yang pada awalnya terdiri dari 2 tower yang memiliki 41 lantai dan didesain dengan menggunakan struktur beton bertulang. Sebagai bahan studi perancangan bangunan ini di modifikasi menjadi 13 lantai dan beberapa perencanaan balok pada lantai 4 direncanakan menggunakan struktur balok pretekan. Beton pratekan merupakan kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan cara aktif, sedangkan beton bertulang kombinasinya secara pasif. Cara aktif ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya kebeton, sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat di-eliminir oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

Untuk menghasilkan perencanaan struktur beton bertulang yang rasional, maka perencanaan ini mengacu pada peraturan-peraturan yang berlaku diantaranya SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727:2013 tentang

Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 7833:2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.

Pada tugas akhir ini juga dilakukan perhitungan terhadap rencana anggaran biaya (RAB) dan metode pelaksanaan terhadap satu segmen balok beton pratekan. Rencana anggaran biaya mengacu pada peraturan HSPK Surabaya 2016.

Kata kunci :Modifikasi Struktur, Beton Bertulang, Beton Pratekan, RAB, Metode Pelaksanaan

THE STRUCTURAL DESIGN OF 13 STORIES APARTMENT BUILDING USING PRESTRESSED BEAM METHOD

Student Name : Tria Ciptadi
NRP : 3116 040 530
Department : Diploma 4 Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi ITS
Supervisor : Ridho Bayuaji, ST, MT, Ph.D

Abstract

Puncak Merr Apartment Building is a building that initially consist of 2 towers which has 41 stories and was designed using concrete reinforced structure. As for study material the design of this building is modified to be 13 stories and some of beam in the 4th story is designed using prestressed beam structure. Prestressed concrete is a combination of high quality concrete and high quality steel that combined in active way, while reinforced concrete is combined in passive way. This active way can be achieved by pulling steel by holding it in a concrete, so that the concrete is in underpressure condition. Since the concrete cross-section before the load work has been in underpressure condition, when the load is working the tensile stress that occurs can be eliminated by the compressive stress that applied to the cross section before the load work.

To produce a rational reinforced concrete structure design, the design is referring to the applicable regulations as SNI 2847:2013 about Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 1726:2012 about Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727:2013 about Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 7833:2012 about Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.

This final project, the calculation of engineering cost estimate (ECE) and implementation method for one segment of prestressed concrete beam is also estimated. The budget plan is referring to the HSPK Surabaya 2016 regulations.

Key word : Structure Modification, Reinforced Concrete, Prestressed Concrete, ECE, Implementation Method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Desain Struktur Gedung Apartemen 13 Lantai dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan”. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada Program Studi D-4 Lanjut Jenjang Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan. Untuk itu ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada :

1. Bapak Ridho Bayuaji., ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, yang selalu memberikan dukungan dan doanya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, masih terdapat banyak kekurangan yang jauh dari sempurna, dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan dan wawasan serta pengalaman yang masih sedikit. Diharapkan segala kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga apa yang disajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak khususnya teman-teman dari bidang studi teknik sipil.

Penulis

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Beton Bertulang.....	6
2.3 Beton Prategang	7
2.3.1 Gaya Prategang.....	8
2.3.2 Tegangan Ijin pada Baja dan Beton.....	8
2.3.3 Metode Sistem Prategang.....	9
2.3.4 Prinsip Dasar Beton Prategang	11
2.3.5 Kehilangan Gaya Prategang	14
BAB III METODOLOGI	19

3.1 Umum	19
3.2 Pembahasan Metodologi.....	21
3.2.1 Pengumpulan Data Bangunan Eksisting.....	21
3.2.2 Studi Literatur.....	22
3.2.3 Preliminary Desain	22
3.2.4 Perhitungan Struktur Sekunder.....	25
3.2.5 Penetapan Kriteria Disain	27
3.2.6 Pemodelan Struktur	28
3.2.7 Pembebanan.....	28
3.2.8 Analisis Struktur Utama	31
3.2.9 Perhitungan Struktur Utama	31
3.2.10 Perencanaan Balok Prategang	32
3.2.11 Gambar Kerja	44
4.1 Data Perencanaan	45
4.2 Preliminary design Balok	45
4.3 <i>Preliminary design</i> Pelat Lantai	48
4.4. Perencanaan Dimensi Kolom	51
4.4.1 Perhitungan Dimensi Kolom	51
4.5 Pembebanan.....	54
4.5.1 Kombinasi Pembebanan	64
4.5.2 Peninjauan terhadap Pengaruh Gempa	65
4.6 Permodelan dan analisa dinamis struktur	66
4.6.1 Penjelasan umum.....	66

4.6.2 Permodelan Analisa Struktur.....	66
4.7 Perencanaan Struktur Sekunder.....	72
4.7.1 Perencanaan Penulangan Tangga	72
4.7.2 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai	81
4.8 Perencanaan Struktur Utama non Prategang	88
4.8.1 Perencanaan Balok Induk	88
4.8.2 Perhitungan Tulangan Lentur	89
4.9 Desain Kolom.....	101
4.10 Perencanaan Struktur Utama Prategang	111
4.10.2. Data Perencanaan Beton Prategang	112
4.10.3. Penentuan Tegangan Ijin Beton Kelas U.....	112
4.10.4. Dimensi Penampang Balok Prategang Sebelum Komposit	11
3	
4.10.5. Beban Balok Prategang	116
4.10.6. Analisa Gaya Prategang	117
4.10.7. Penentuan Strand dan Tendon yang Digunakan....	119
4.10.8. Kehilangan Gaya Prategang	121
4.10.9 Momen Retak	128
4.10.10 Kontrol Lendutan	129
4.10.11 Daerah Limit Kabel	131
4.10.12 Penulangan Geser	133
4.10.12 Kuat Geser yang Disumbangkan Beton	135

4.10.13 Perencanaan Tulangan Geser.....	137
4.10.14 Pengangkuran Ujung	138
4.11 Metode Pelaksanaan Struktur Prategang	140
4.12 Rencana Anggaran Biaya Balok Presstress per Segmen	143
BAB V PENUTUP	145
5.1. Kesimpulan.....	145
5.2 Saran	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi beton prategang pratarik	10
Gambar 2.2 Ilustrasi beton prategang pasca tarik	11
Gambar 2.3 Konsep beton prategang sebagai bahan yang elastis	12
Gambar 2.4 Momen penahan internal beton prategang dan beton bertulang.....	13
Gambar 2.5 Balok beton menggunakan baja mutu tinggi	13
Gambar 2.6 Skema Kehilangan Akibat Kekekangan Kolom.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Perencanaan.....	20
Gambar 3.2 Denah Lantai 5	21
Gambar 4.1	38
Gambar 4.2 Balok Primer (B1)	46
Gambar 4.3 Balok Primer (B2)	46
Gambar 4.4 Balok Primer (BA1)	47
Gambar 4.5 Tinjauan Plat Lantai Tipe A	48
Gambar 4.6 Pembebanan kolom	52
Gambar 4.7 Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko tertarget.....	59
Gambar 4.8 Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget	59
Gambar 4.9 Spektrum Respons Desain	63
Gambar 4.10 <i>Input Form</i> Material Elemen Struktur pada SAP 2000.....	67
Gambar 4.11 <i>Input Form Mass Source</i> untuk Analisa Modal pada SAP 2000.	68

Gambar 4.12 Permodelan Struktur Tampak Atas	69
Gambar 4.13 Permodelan Struktur Tampak Samping (Y+)	69
Gambar 4.14 Permodelan Struktur Tampak Depan (X+)	70
Gambar 4.15 Input Form untuk Analisa Modal SAP 2000	71
Gambar 4.16 Rencana Anak Tangga	73
Gambar 4.17 Sketsa Beban Pada Tangga	75
Gambar 4.18 Letak Balok Induk BK1(As K ; 10-11) yang direnakan.....	88
Gambar 4.19 Momen Envelope Balok Primer BK1 As K ; 10-11.....	90
Gambar 4.20 Penampang Balok T.....	94
Gambar 4.21 Denah Posisi Kolom K3 (95/150) pada As H-15	101
Gambar 4.22 Posisi Kolom K3 (95/150) pada As H-15	102
Gambar 4.23 Penampang Kolom As H-15	104
Gambar 4.24 P-M Diagram Interaksi Kolom As H-15.....	105
Gambar 4.25 Penampang komposit balok prategang	115
Gambar 4.26 Diagram kehilangan akibat kekangan kolom.....	124
Gambar 4.27 Batas daerah limit kabel.....	131
Gambar 4.28 Letak posisi tendon ditabelkan dalam tabel 4.19.	133
Gambar 4.29 Pemasangan scaffolding dan balok suri-suri	140
Gambar 4.30 Pemasangan bekisting, pipa selongsong dan tendon balok prategang	141
Gambar 4.31 Proses jacking balok prategang	141

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Minimum desain berat bahan bangunan.....	28
Tabel 3. 2 Koefisien Susut Pascatarik (<i>Post tension</i>).....	36
Tabel 3. 3 Koefisien Gesek Kelengkungan dan <i>Woble</i> untuk tendon pasca-tarik (sumber : Tabel 4 SNI 2847-2013)	38
Tabel 4. 1 Resume pendimensian balok.....	47
Tabel 4. 2 Resume ketebalan pelat.....	50
Tabel 4. 3 Beban mati pelat untuk kolom.....	52
Tabel 4. 4 Resume pendimensian kolom.....	54
Tabel 4. 5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa	56
Tabel 4. 6 Faktor Keutamaan Gempa.....	57
Tabel 4. 7 Klasifikasi Situs.....	58
Tabel 4. 8 Koefisien Situs, F_a	60
Tabel 4. 9 Koefisien Situs, F_v	61
Tabel 4. 10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	63
Tabel 4. 11 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	63
Tabel 4. 12 Sistem Penahan Gaya Gempa.....	64
Tabel 4. 13 <i>Modal Load Participation Ratios</i>	71
Tabel 4. 14 Modal Participating Mass Ratios	71

Tabel 4. 15 Modal Periods and Frequencies.....	72
Tabel 4. 16 Momen dalam pelat	82
Tabel 4. 17 Penulangan Pelat Lantai	87
Tabel 4. 18 Momen Envelope Kolom	103
Tabel 4. 19 Perhitungan Momen	117
Tabel 4. 20 Letak Posisi Tendon	133

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi beton akhir-akhir ini dapat dibuktikan dengan adanya gedung-gedung bertingkat yang pembangunannya menggunakan teknologi beton mutu tinggi. Beton bertulang merupakan beton yang memiliki kuat tarik terbatas, sedangkan kuat tekannya tinggi. Dengan demikian, pemberian prategang menjadi penting di dalam banyak penerapan agar dapat secara penuh memanfaatkan kuat tekan dan, melalui desain yang benar, dapat menghilangkan dan mengontrol retak dan defleksi.

Setelah ditinjau, bangunan gedung ini menggunakan beton bertulang pada struktur balok dan kolomnya. Maka untuk memaksimalkan fungsi ruang pada gedung tersebut, dirancang modifikasi dengan memberi suatu ruangan luas tanpa kolom pada salah satu lantai dimanfaatkan sebagai ruang pertemuan dengan menggunakan balok pratekan karena dapat menahan lendutan besar dengan dimensi yang minimal.

Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi. (Lin dan Burns, 1996).

Apabila bentang balok dari beton bertulang melebihi batas maksimum, maka beban mati balok tersebut menjadi sangat berlebihan, yang menghasilkan komponen struktur yang lebih berat dan, akibatnya, retak dan defleksi jangka panjang yang lebih besar. Jadi, untuk bentang panjang, beton prategang merupakan keharusan karena pembuatan pelengkung mahal dan tidak dapat berperilaku dengan baik akibat adanya rangkai dan susut jangka panjang yang dialaminya. (Nawy, 2001)

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan struktur sesuai dengan metode SRPMK?
2. Bagaimana menentukan permodelan dan asumsi pembebanan?
3. Bagaimana menerapkan design sistem balok beton pratekan pada bangunan tersebut?
4. Bagaimana merencanakan metode pelaksanaan balok pratekan?
5. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik?

1.3 Maksud dan Tujuan

Dari permasalahan yang ada di atas, adapun tujuan yang akan dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Mampu merancang struktur sesuai dengan metode SRPMK.
2. Mampu menentukan permodelan dan asumsi pembebanan.
3. Mampu menerapkan desain sistem balok pratekan pada bangunan gedung.
4. Mampu merencanakan metode pelaksanaan balok pratekan.
5. Mampu menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Mengingat keterbatasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini, maka ada batasan-batasan masalah antara lain:

1. Tidak menghitung aspek ekonomis dan biaya konstruksi.
2. Tidak memperhitungkan sistem utilitas bangunan, instalasi air bersih dan air kotor, instalasi listrik, finishing dsb.
3. Tidak memperhitungkan struktur bawah (pondasi)
4. Memperhitungkan metode pelaksanaan dan anggaran biaya balok pratekan.

1.5 Manfaat

1. Dapat merancang struktur dengan metode SRPMK.
2. Dapat memperhitungkan dan menganalisa struktur gedung dengan menggunakan balok pratekan.
3. Dapat menerapkan semua ilmu yang berkaitan dengan teori dan perencanaan struktur yang diperoleh selama bangku kuliah dengan data yang ada dilapangan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pembangunan konstruksi dengan beton bertulang merupakan jenis konstruksi yang paling banyak digunakan karena mudah dalam mendapatkan material dan pelaksanaannya. Beton bertulang efektif digunakan pada konstruksi dengan bentang balok yang tidak terlalu panjang. Sedangkan untuk konstruksi balok dengan bentang yang panjang digunakan beton prategang dengan dimensi yang relatif kecil.

Didalam perancangan suatu struktur harus selalu diperhatikan hal-hal sebagai berikut : 1). Dari segi kekuatan, struktur tersebut harus dapat diandalkan kekuatannya, 2). Dari segi estetika memenuhi syarat keindahan dan 3). Dari segi finansial struktur tersebut harus ekonomis. Apabila semua persyaratan diatas terpenuhi, maka dapat dikatakan bahwa struktur yang direncanakan memenuhi persyaratan teknis.

Perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia sangat penting mengingat sebagian besar wilayahnya berada dalam area cincin api, yang memiliki intensitas gempa moderat hingga tinggi. Salah satu syarat penting struktur tahan gempa adalah daktilitas yang memadai. Sebuah struktur memiliki daktilitas yang baik bila elemen-elemen struktur penyusunnya juga memiliki daktilitas yang baik.

Untuk gedung yang menggunakan balok prategang, terdapat sebuah kendala dimana balok prategang biasanya memiliki sifat yang getas. Oleh karena itu diperlukan sebuah perencanaan khusus dalam mendesain balok prategang agar mencapai daktilitas yang memadai serta andal dalam menahan beban gempa. Cara untuk memenuhi syarat daktilitas itu adalah dengan menggunakan balok prategang parsial (Pangaribuan, 2012).

2.2 Beton Bertulang

Beton dalam konstruksi teknik didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu wadah atau cetakan dalam keadaan cair kental, yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung. Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen *portland* (s.p.) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar yang dipakai pada umumnya adalah kerikil atau batu pecah kecil (kricak) dan pasir sebagai agregat halus yang biasa digunakan. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri dari campuran semen portland, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton (Wikana & Widayat, 2007).

Beton pada dasarnya kuat menahan tekan tetapi lemah terhadap tarik, oleh karena itu beton dipadukan dengan baja tulangan yang kuat terhadap tarik sehingga didapatkanlah suatu kesatuan beton bertulang yang bisa digunakan pada konstruksi bangunan. Menurut SNI 2847-2013 beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban

tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

2.3 Beton Prategang

Beton merupakan salah satu bahan yang mempunyai kuat tekan yang tinggi namun dari segi kuat tarik yang rendah, sedangkan baja merupakan material yang mempunyai kuat tarik tinggi. Oleh karenanya kedua bahan tersebut diharapkan dapat dikombinasikan agar didapat bahan yang kuat terhadap tarik dan tekan (*Budiadi, 2008*). Kombinasi yang terjadi pada beton prategang merupakan kombinasi yang aktif dari beton dan baja, yaitu dengan menarik baja dengan tegangan gaya tertentu dan melepaskannya sehingga mewujudkan beton dalam keadaan tertekan.

Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang pada kenyataannya adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai keinginannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara – cara aktif , hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahanya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Dengan kombinasi aktif ini akan didapat perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Jadi beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi (*Lin & Burns, 1988*).

Pengaruh dari struktur portal kolom dan balok terhadap balok beton prategang terletak pada gaya aksial dan momen yang diterima. Adanya gaya prategang awal (aksial) yang bekerja pada balok portal dengan suatu penampang kolom, maka gaya aksial yang bekerja pada balok tersebut akan berkurang. Besarnya nilai gaya aksial yang berkurang tersebut akan menjadi gaya geser pada kolom. Pengurangan gaya aksial pada balok ini dikarenakan pengaruh kekakuan

kolomnya. Bila kolom tersebut diperbesar penampangnya, maka gaya aksial (prategang) yang bekerja pada balok dapat dipastikan akan berkurang. Besarnya momen yang terjadi pada balok tersebut juga mengalami perubahan. Momen tersebut dihasilkan oleh gaya aksial prategang terhadap jarak eksentrisitas kabel terhadap titik berat penampang beton. Dengan adanya kolom pada balok menerus prategang, maka besarnya nilai momen yang terjadi pada balok juga akan berkurang. Kekakuan kolom membuat momen-momen yang seharusnya terjadi pada balok terserap pada area kolom (Suryadi, 2009).

2.3.1 Gaya Prategang

Gaya prategang dipengaruhi momen total yang terjadi. Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. Persamaan ini menjelaskan hubungan momen total dengan gaya prategang (Lin & Burns, 1996).

$$F = \frac{M_T}{0,65h} \quad (2.1)$$

Dimana M_T adalah momen akibat beban mati tambahan, berat sendiri dan beban hidup. Sementara h merupakan tinggi balok.

2.3.2 Tegangan Ijin pada Baja dan Beton

Tegangan ijin baja sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.5 tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

- a. Tegangan ijin akibat gaya pengangkatan tendon yang bekerja pada kabel. 0,94 fpy tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari 0,8 fpu dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkur.
- b. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya prategang. 0,70 fpu

Tegangan ijin pada beton sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.3.3 dan 18.4 :

1. Beton prategang akan diklasifikasikan sebagai kelas U sehingga tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik pada saat beban layan adalah kurang dari sama dengan $0,62 f'c$
2. Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.1 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan $0,60 f'ci$
 - Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana $0,70 f'ci$
3. Tegangan beton pada kondisi beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, setelah pembolehan untuk semua kehilangan prategang) untuk komponen struktur lentur prategang kelas U dan kelas T sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 tidak boleh melampaui nilai berikut :
 - Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap $0,45 f'c$
 - Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total $0,60 f'c$

Dimana :

f_{pu} = kuat tarik tendon prategang yang diisyaratkan, MPa

f_{py} = kuat leleh tendon prategang yang diisyaratkan, MPa

f'_{ci} = kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, Mpa

$f'c$ = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

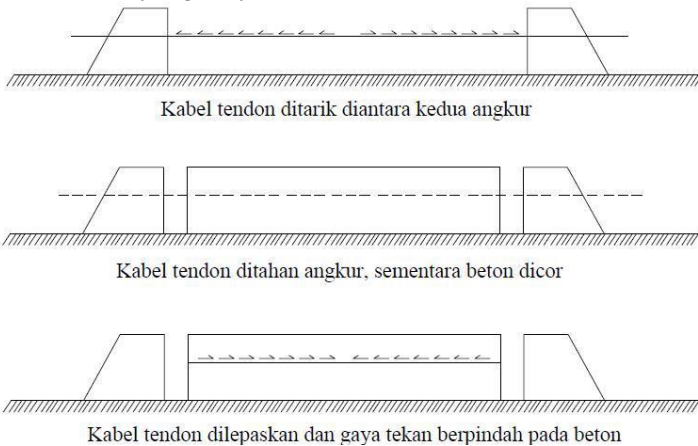
2.3.3 Metode Sistem Prateganng

1. Sistem Pratarik (Pre-tension)

Sistem pratarik dimana tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang tegar (*rigid*) yang dicetak di atas tanah atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik, dan beton selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton

sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengering, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan prategang ditransfer ke beton (*Budiadi, 2008*).

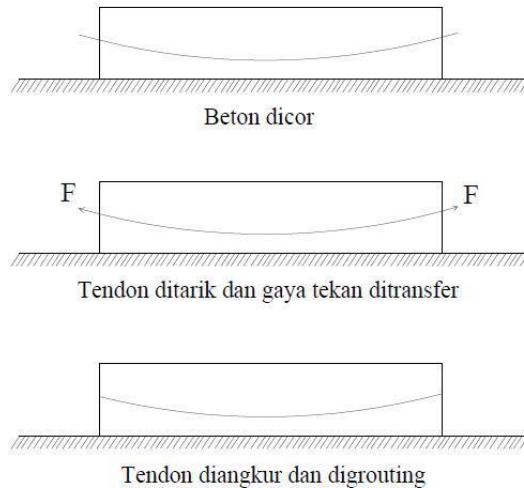
Transfer prategang beton biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik atau dongkrakan sekrup yang besar, dimana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan.



Gambar 2.1 Ilustrasi beton prategang pratarik
(Sumber : Desain Praktis Beton Prategang, Andri Budiadi)

2. Sistem Pasca tarik (*Post-tension*)

Sistem pascatarik dimana unit beton terlebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau alur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh ankur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya digROUT setelah penarikan (*Budiadi, 2008*).



Gambar 2. 2 Ilustrasi beton prategang pasca tarik
(Sumber : Desain Praktis Beton Prategang, Andri Budiadi)

Berdasarkan pada ikatan tendon dengan betonnya, pasca-tarik terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. *Bonded*, setelah gaya prategang diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon diisi dengan material grout.
2. *Unbonded*, setelah gaya prategang diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon dibiarkan begitu saja. Adapun perlindungan tendon dari korosi biasanya dilakukan dengan sistem yang tahan air (*waterproof*).

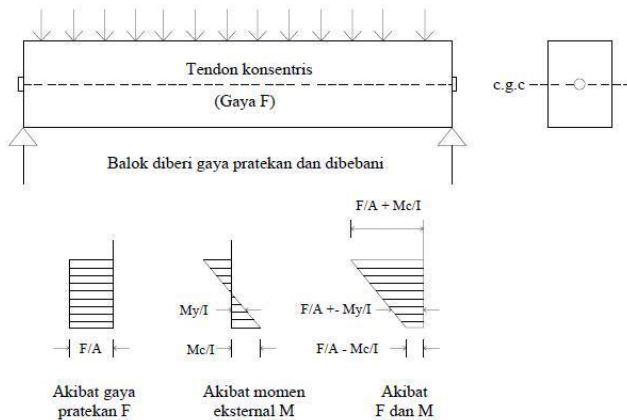
2.3.4. Prinsip Dasar Beton Prategang

1. Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang elastis.

Pada konsep yang pertama ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton yang pada dasarnya tidak mampu

menahan tarik namun mampu memikul tekan dengan dilakukanya penekanan (pemberian gaya prategang) beton menjadi dapat memikul tegangan tarik (Lin & Burns, 1988).

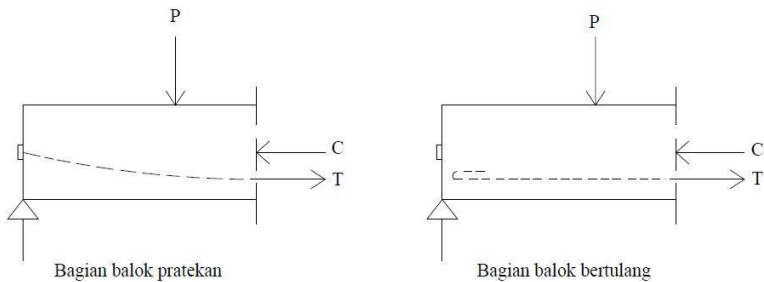
Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, seperti gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Konsep beton prategang sebagai bahan yang elastis
(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang, T.Y Lins & H.Burns)

2. Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton.

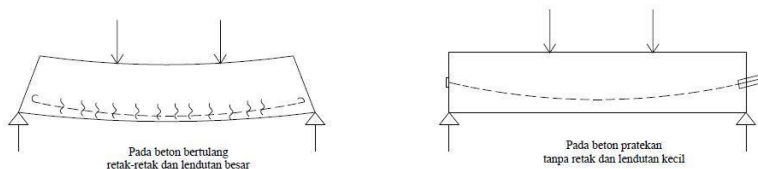
Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.



Gambar 2. 4 Momen penahan internal beton prategang dan beton bertulang

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang, T.Y Lins & H. Burns)

Pada beton prategang baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Karena jika baja mutu tinggi tersebut ditanamkan seperti pada beton bertulang biasa, akan terjadi retak – retak di beton sekitar sebelum seluruh kekuatan baja digunakan.



Gambar 2. 5 Balok beton menggunakan baja mutu tinggi

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang, T.Y Lins & H. Burns)

3. Sistem Prategang Untuk Mencapai Kesetimbangan Beban.

Konsep ini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan disain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri pelat,

balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

2.3.5 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing. Reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

- a. Kehilangan akibat perpendekan elastis
- b. Kehilangan akibat pengankuran
- c. Kehilangan akibat gesekan (*Woble efect*)
- d. Kehilangan akibat kekangan kolom

2. Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)

Kehilangan prategang yang bergantung pada waktu disebut sebagai kehilangan prategang secara tidak langsung hal ini dikarenakan hilangnya gaya awal yang ada terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secara langsung seketika saat jacking), adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

- a. Kehilangan akibat susut
- b. Kehilangan akibat rangkak
- c. Kehilangan akibat relaksasi baja

Berikut ini penjelasan dari masing - masing kehilangan prategang :

Kehilangan Prategang Langsung:

a. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis

Akibat gaya jacking yang terjadi oleh tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya prestress yang cukup besar), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang

menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada kontruksi pascatarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan, karena penarikan kabel hanya terjadi satu kali dan tidak ada tendon awal yang mengalami perpendekan dan kehilangan akibat tarikan tendon terakhir (Nawy, 2000).

b. Kehilangan Akibat *Woble Efek* dan gesekan

Kehilangan prategang akibat gesekan terjadi di antara tendon dan bahan-bahan disekelilingnya. Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *woble effect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_o di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak L di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wobble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon (Nawy, 2000).

c. Kehilangan Akibat Slip Angkur

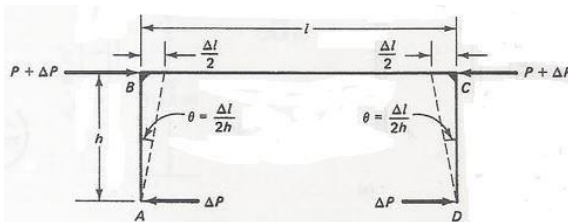
Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke angkur. Pada metode pascatarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya *jacking* dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit (Nawy, 2000).

d. Kehilangan Prategang Akibat Kekangan Kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini dapat terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom, gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpindahan beton

akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi, demikian pula jika kolom didisain tidak kaku maka semakin kecil gaya kehilangan prategang balok akibat kekangan dan semakin kecil momen yang diterima kolom akibat gaya jacking yang terjadi (Nawy, 2000).



Gambar 2. 6 Skema Kehilangan Akibat Kekakuan Kolom

$$\Delta P = \frac{M_B - M_A}{h} \quad (2.2)$$

Berdasar Gambar 2.6 besarnya gaya yang hilang akibat kekangan dapat dihitung sebagai ΔP dengan persamaan di atas dimana M_B dan M_A adalah momen muka kolom pada titik A dan titik B akibat gaya P yang bekerja.

Kehilangan Prategang Tidak Langsung:

- a. Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja

Tendon low relaxation mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu dengan kehilangan yang lebih kecil dibanding dengan tendon strand relieved. Besarnya pengurangan gaya prategang tidak hanya pada durasi gaya prategang yang ditahan,

melainkan juga pada ratio antara prategang awal dan tegangan leleh tendon prategang $\frac{f_{ci}}{f_{py}}$ dimana f_{ci} adalah tegangan

prategang awal setelah jacking dan kehilangan langsung dengan nilai yang sesuai dengan tegangan ijin tendon, sedangkan nilai $f_{py} = 0.9 f_{pu}$ untuk tendon low relaxation (Nawy Edward, 2001). Jika nilai ratio tegangan antara prategang awal dengan tegangan leleh tendon prategang kurang dari 0.55 maka kehilangan akibat relaksasi baja sangat terjadi bahkan tidak terjadi kehilangan akibat relaksasi baja.

b. Kehilangan Prategang Akibat Rangkak (*Creep*)

Rangkak Merupakan deformasi lateral akibat tegangan longitudinal yang dapat menyebabkan hilangnya sebagian gaya prategang. Tegangan tersebut hanya terjadi akibat beban yang terus – menerus selama riwayat pembebanan elemen beton prategang, rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah dilakukan gaya jacking prategang. Karena pada pelaksanaannya dilakukan grouting (Nawy, 2000).

c. Kehilangan Prategang Akibat Susut (*Shrinkage*)

Susut pada beton adalah regangan yang terjadi akibat penguapan air yang bergantung pada kelembapan, ukuran bentuk penampang dan waktu. Kehilangan prategang akibat susut untuk komponen struktur pascatarik bernilai lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian gaya prategang.

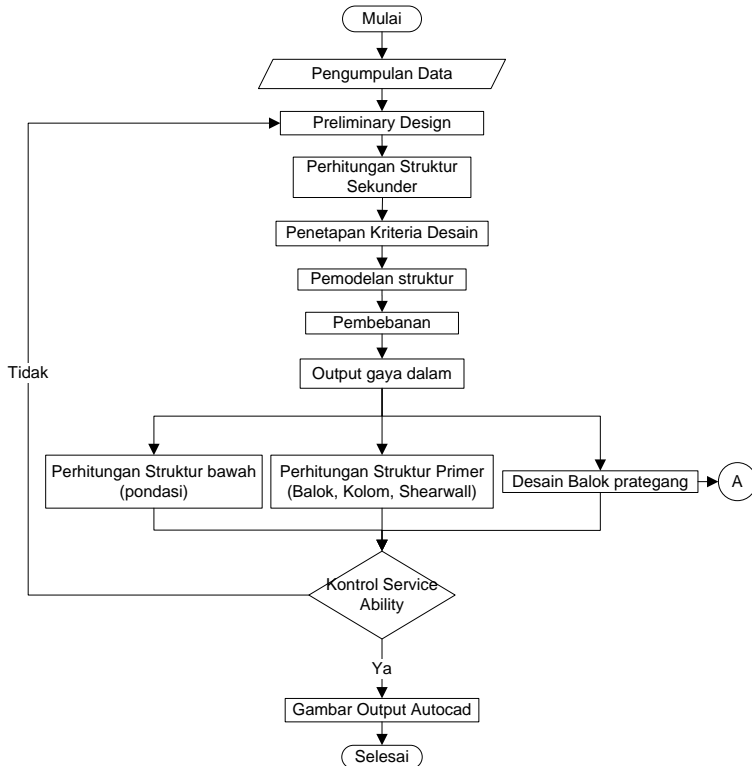
Rangkak, susut dan relaksasi baja prategang akan memberikan tambahan lendutan yang terjadi akibat lendutan seketika sejalan dengan bertambahnya waktu serta akan menyebabkan kehilangan gaya prategang. Pertambahan lendutan akibat rangkak dan susut ini akan tergantung dari besarnya koefisien rangkak dan regangan susut yang terjadi, sedangkan besarnya koefisien rangkak dan regangan susut sangat dipengaruhi oleh kelembapan relatif, perawatan beton,

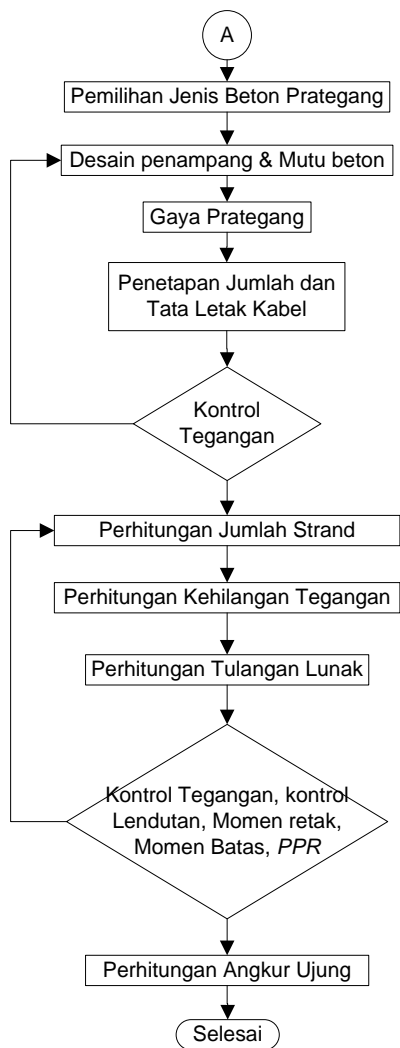
umur beton pada saat di bebani, rasio Antara volume-keliling penampang, slump beton, kadar agregat dan kadar udara (Sutarja, 2006).

BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

Metodologi ini menjelaskan urutan pelaksanaan dalam penyelesaian yang akan digunakan di penyusunan tugas akhir. Urutan yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada alur di bawah ini, selanjutnya akan diikuti dengan penjelasan dari alur tersebut.





Gambar 3. 1. Diagram Alir Metodologi Perencanaan

3.2 Pembahasan Metodologi

Diagram alir pada gambar 3.1 merupakan acuan untuk merencanakan struktur gedung Apartemen 13 lantai di Surabaya menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dengan beton prategang pada lantai kolam renang.

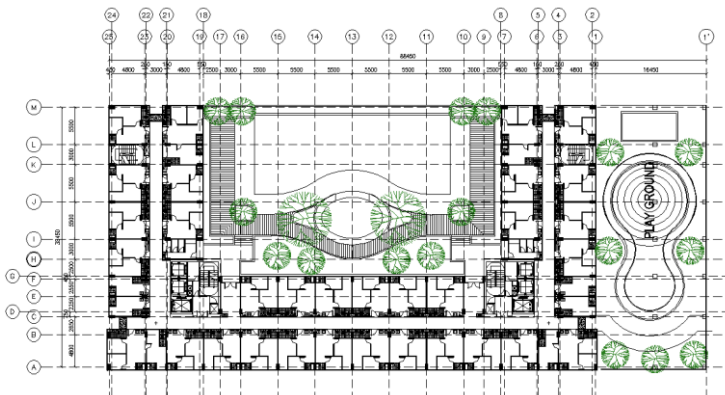
3.2.1 Pengumpulan Data Bangunan Eksisting

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan gedung adalah sebagai berikut :

1. Gambar Arsitektur
2. Data tanah

Data-data umum dari gedung adalah :

- a. Nama Gedung : Puncak Merr Surabaya
- b. Fungsi : Apartemen
- c. Jumlah lantai : 41 lantai
- d. Struktur utama : Struktur beton bertulang
- e. Luas Bangunan : 151,342 m²
- f. Tinggi Bangunan : 117,8 m
- g. Struktur Bangunan : Beton bertulang



Gambar 3. 2 Denah Lantai 5

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka dan peraturan mengenai perancangan beton prategang dan struktur gedung secara umum yang akan sangat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
3. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983)
4. Beton Prategang edisi ketiga (T.Y.Lin, 1996)
5. Perancangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa (Rahmat Purwono, 2014)

3.2.3 Preliminary Desain

Preliminary desain merupakan tahapan awal untuk menentukan dimensi awal dari suatu komponen struktur yang mengacu pada ketentuan SNI 2847-2013. Beberapa komponen struktur tersebut antara lain :

1. Balok
2. Kolom
3. Pelat
4. Tangga

a. Preliminary Balok

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.1 dalam menentukan dimensi awal balok dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
 - Panjang Balok
 - Data properties material
2. Rencanakan lebar balok (b) adalah $2/3 h$.
3. Bila f_y sama dengan 400 Mpa gunakan pers. 3.1. Bila f_y selain 420 Mpa gunakan pers. 3.2.

$$h_{\min} = L/16 \quad \dots\dots \text{Pers. 3.1}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \left(0,4 + \left(\frac{f_y}{700} \right) \right) \quad \dots\dots \text{Pers. 3.2}$$

Keterangan :

h_{\min} = Tinggi minimum balok (mm).

L = Panjang balok (mm).

f_y = Tegangan leleh baja (MPa).

b. Preliminary Plat Lantai

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.2 dalam menentukan dimensi awal plat lantai dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
 - Bentang bersih sumbu panjang dan pendek.
 - Dimensi balok yang menjepitnya.
2. Menentukan lebar sayap efektif dari balok T (be)
3. Menghitung α_m yang didapatkan dari pers. 3.3.

$$\alpha_m = \frac{\sum \alpha_n}{n} \quad \dots\dots \text{Pers. 3.3}$$

Keterangan :

α_m = Nilai rata-rata α yang menjepit plat tersebut.

α = Rasio kekakuan balok terhadap plat yang ditentukan dengan pers. 3.4

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cp} I_p} \quad \dots\dots \text{Pers. 3.4}$$

$E_{cb} = E_{cp}$ = Elastisitas beton.

I_p = Momen Inersia plat (mm^4)

I_b = Momen Inersia balok (mm^4)

Bila $\alpha_m \leq 0,2$, maka tebal plat adalah 125 mm, namun bila $0,2 \leq \alpha_m \leq 2$. Tebal plat ditentukan dengan pers. 3.5

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \leq 125 \text{ mm} \quad \dots \text{Pers. 3.5}$$

Keterangan :

ln = Bentang bersih arah memanjang panel pelat (mm).

h = Tebal plat (mm).

β = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek plat.

f_y = Tegangan leleh baja (MPa).

Bila $\alpha_m \geq 0,2$, maka tebal plat ditentukan dengan pers. 3.6

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \leq 90 \text{ mm} \quad \dots \text{Pers. 3.6}$$

Keterangan :

ln = Bentang bersih arah memanjang panel pelat (mm).

h = Tebal plat (mm).

β = Rasio bentang bersih arah memanjang terhadap arah memendek plat.

f_y = Tegangan leleh baja (MPa).

c. Preliminary Kolom

Dalam menentukan dimensi awal kolom dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Kolom yang akan dianalisis dipilih berdasarkan yang memikul beban terbesar lalu menentukan data desain yang meliputi :
 - Tebal plat yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
 - Dimensi balok yang menumpu kolom yang akan dianalisis.
 - Mutu Beton yang digunakan (f'_c).
2. Mendefinisikan beban-beban yang akan menumpu pada kolom sesuai dengan SNI 1727-2013.
3. Menghitung A_{perlu} dengan menggunakan pers. 3.7.

$$A = \frac{P}{\phi f'_c} \quad \dots \text{Pers. 3.7}$$

Keterangan :

A = Luas kolom yang dibutuhkan (mm^2)

P = Total beban yang menumpu kolom

ϕ = Faktor reduksi = 0,3

Cek dimensi kolom dengan $h = b$ lebih besar dari 300 mm serta rasio b dan h lebih besar dari 0,4

d. Preliminary Tangga

Dalam menentukan dimensi awal tangga dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data perencanaan seperti :
 - Elevasi tangga
 - Tinggi antara lantai dengan plat bordes
2. Merencanakan lebar anak tangga (i) dan tinggi anak tangga (t)
3. Menghitung jumlah tanjakan dan injakan
4. Kontrol batasan α , yaitu $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
5. Menentukan tebal efektif plat dan bordes tangga

3.2.4 Perhitungan Struktur Sekunder

Desain struktur sekunder dilakukan dengan cara mengambil output gaya-gaya dalam dari hasil proses analisis struktur sekunder. Gaya-gaya dalam tersebut menjadi acuan untuk desain dalam struktur sekunder. Beberapa elemen struktur sekunder yang akan di rencanakan antara lain :

1. Pelat Lantai
2. Balok Sekunder
3. Tangga

1. Penulangan pelat lantai

Dari denah perencanaan pelat lantai telah ditentukan ukuran dan jenis pelat adalah tipikal serta termasuk pelat dua arah.

Untuk penulangan pelat langkah-langkah adalah sebagai berikut:

- Diberikan data data d, f'_c, f_y .

- Menetapkan batas-batas harga-harga perbandingan tulangan yang dipilih yaitu $\rho_{balance}$, ρ_{min} , ρ_{max}
- Menghitung As sesuai ρ yang dipakai dan memilih tulangan serta jarak tulangan.
 $As = \rho . b . d$; tul susut = $0,002 b d$

2. Perencanaan struktur tangga

Pada perencanaan tangga pada struktur menggunakan cor setempat dengan perletakan jepit-jepit (Bebas) untuk lantai 1-10, agar struktur tangga tidak mempengaruhi struktur utama terhadap beban gempa. Perencanaan tangga dibedakan menjadi perencanaan tangga darurat dan tangga putar. Pada perencanaan struktur tangga ini lebar injakan dan lebar injakan harus memenuhi persyaratan.

Syarat perencanaan tangga :

$$2.t + i = 64 - 67$$

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

3. Perencanaan Balok Sekunder

Langkah-langkah dalam menentukan balok sekunder antara lain :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
 - Data properti material.
 - Dimensi balok.
2. Menentukan pembebanan yang akan dipikul oleh balok sekunder.
3. Menganalisis struktur secara manual sehingga didapatkan gaya-gaya dalam yang dibutuhkan dalam desain.
4. Menghitung rasio tulangan
5. Menghitung kapasitas momen nominal (M_n)
6. Hitung Kapasitas Geser
7. Kontrol Lendutan
8. Kontrol terhadap retak

3.2.5 Penetapan Kriteria Disain

Pemilihan kriteria disain dilakukan berdasarkan data gedung sehingga system struktur yang akan dianalisis telah memenuhi persyaratan yang terdapat pada SNI 1726 2012.

Langkah-langkah tersebut Antara lain :

1. Menentukan data desain meliputi :
 - Denah struktur
 - Potongan Memanjang struktur
 - Potongan Melintang struktur
2. Menentukan parameter percepatan respons spectral MCE pada periode pendek, redaman 5% (S_s) dan parameter percepatan respons spectral MCE pada periode 1 detik, redaman 5% (S_1).
3. Menentukan Klasifikasi Situs.

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata (\bar{N}) dengan menggunakan pers. 3.8

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n_i}} \quad \text{.....Pers. 3.8}$$

Keterangan :

n_i = Tahanan penetrasi standar 60 persen energy (N60) yang terukur langsung dilapangan tanpa koreksi, dengan nilai tidak lebih dari 305 pukulan/m.

d_i = Ketebalan lapisan tanah yang terdapat pada 30 m lapisan paling atas.

4. Menentukan Koefisien Situs (F_a dan F_v).

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 6.2 koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan table 4 dan 5 pada SNI 1726-2012.

5. Menghitung S_{MS} dan S_{M1} .

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 6.2 untuk menentukan parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan pers. 3.9

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_a S_I \quad \text{.....Pers. 3.9}$$

6. Menentukan Kategori Risiko dan Faktor Keuatamaan Gedung (I_e).

7. Menentukan Kategori Desain Seismik.

8. Menentukan Sistem Penahan Gempa.

Penentuan sistem penahan gempa mengacu pada tabel SNI 1726-2012.

3.2.6 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur untuk gedung yang ditinjau ini, menggunakan sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser yang di modelkan dalam bentuk 3 dimensi menggunakan bantuan program SAP2000.

3.2.7 Pembebanan

Penentuan dan penggunaan beban yang sesuai dengan peraturan *ASCE 07-05* dan SNI 1727-2013 :

1. Beban mati

Tahapan pembebanan dalam mendesain struktur gedung ini dimaksudkan untuk mendefinisikan nilai beban-beban yang akan dipikul oleh struktur berdasarkan pada SNI 1727-2013. Besarnya nilai pembebanan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Minimum desain berat bahan bangunan dari komponen gedung (*ASCE 07-05*)

Bahan Bangunan	Berat Sendiri	Satuan
Beton bertulang	24	kN/m^3
Tegel (<i>Ceramic or quarry tile</i>)	0.21	kN/m^2
Spesi (<i>Plester on tile or concrete</i>)	0.24	kN/m^2
Dinding	2.5	kN/m^2
Plafond (<i>Gypsum board</i>)	0.008	kN/m^2
Penggantung (<i>Suspended Steel Channel System</i>)	0.095	kN/m^2
Plumbing	0.1	kN/m^2
Ducting AC (<i>Mechanical Duct Allowance</i>)	0.19	kN/m^2
Aspal (<i>Asphalt shingles</i>)	0.1	kN/m^2

2. Beban hidup

Berdasarkan SNI 1727-2013 Tabel 4-1, beban hidup Gedung Apartemen (hunian) harus diambil paling sedikit sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan untuk beban hidup pada atap harus diambil paling sedikit sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$.

a. Beban Hidup Reduksi Plat Lantai

Berdasarkan SNI 1727-2012 Pasal 4.8 semua beban hidup merata pada lantai dapat direduksi dengan menggunakan Pers. 3.10 kecuali untuk beban hidup merata pada atap.

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad \dots \text{Pers. 3.10}$$

Keterangan :

L = Beban hidup rencana tereduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur

L_o = rencana tanpa reduksi dari luasan yang didukung oleh komponen struktur (Lihat SNI 1727-2013 Tabel 4-1)

K_{LL} = Faktor elemen beban hidup (SNI 03-1727-2012 Tabel 4-2)

A_T = Luas tributary (m^2)

L tidak boleh kurang dari $0,5L_o$ untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan L tidak boleh kurang dari $0,4L_o$ untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih.

b. Beban Hidup Reduksi Plat Lantai Atap

Atap data biasa, dan lengkung diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup atap yang direduksi, sebagaimana ditentukan dalam Pers. 3.11

$$Lr = L_o R_1 R_2 \text{ dengan } 0,58 \leq Lr \leq 0,96 \quad \dots \text{Pers. 3.11}$$

Keterangan :

Lr = Beban hidup atap tereduksi per m^2 dari proyeksi horizontal dalam (kN/m^2).

Faktor reduksi R_1 dan R_2 harus ditentukan seibagai berikut:

1	Untuk $A_T \leq 18,58 \text{ m}^2$
$R_1 = 1,2 - 0,011 A_T$	Untuk $18,58 \text{ m}^2 < A_T < 55,74 \text{ m}^2$
0,6	Untuk $A_T > 55,74 \text{ m}^2$

Keterangan :

A_T = Luas tributary dalam m^2 yang didukung oleh setiap komponen struktur

1	Untuk $F \leq 4$
$R_2 = 1,2 - 0,05F$	Untuk $4 < F < 12$
0,6	Untuk $F \geq 12$

Dimana, untuk atap pelana, F = Jumlah peninggian dalam inch per foot (dalam SI : $F = 0,12 \times \text{kemiringan (sloope)}$), dengan kemiringan dinyatakan dalam persentase), dan untuk atap lengkung atau kubah, F = rasio tinggi terhadap bentang dikalikan dengan 32.

3. Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 untuk bangunan gedung yang memiliki tinggi lebih dari 40 m atau 10 lantai maka termasuk kategori gedung tidak beraturan dimana Analisis beban gempa harus dilakukan berdasarkan respon dinamik terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana, yang dapat dilakukan dengan metoda analisis respon spektrum sebagaimana yang ditentukan pada SNI 1726-2012.

4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diambil berdasarkan SNI 2847-2013 yaitu :

- $U = 1,4D$Pers. 3.12
- $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_{ratau}R)$Pers. 3.13
- $U = 1,2D + 1,6(L_{ratau}R) + (L_{atau} 0,5W)$Pers. 3.14
- $U = 1,2D + W + L + 0,5(L_{ratau}R)$Pers. 3.15
- $U = 1,2D + E + L$Pers. 3.16
- $U = 0,9D + W$Pers. 3.17
- $U = 0,9D + E$Pers. 3.18

Kecuali sebagai berikut :

- a. Faktor beban pada beban hidup L pada Pers. 3.13 s/d Pers. 3.16 diijinkan untuk direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi serta

luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik dan semua luasan dimana L lebih besar dari $4,8 \text{ kN/m}^2$.

- b. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, $1,6W$ harus digunakan sebagai pengganti dari W pada Pers 3.15 dan Pers 3.17, serta $0,8W$ harus digunakan sebagai pengganti dari $0,5W$ pada Pers 3.14.

3.2.8 Analisis Struktur Utama

Pada tahap ini, analisis struktur utama menggunakan SAP2000. r gedung ini termasuk kategori struktur bangunan tidak beraturan maka dalam analisisnya menggunakan pembebanan gempa respon spektrum yang diambil berdasarkan parameter respons spectral percepatan gempa kota Surabaya .

3.2.9 Perhitungan Struktur Utama

Bila sudah melakukan analisa gaya dengan menggunakan program analisis struktur dilakukan perhitungan pendetailan dan kontrol desain. Pada kontrol desain dilakukan agar analisa hasil pendetailan struktur bangunan dapat memenuhi syarat keamanan dan sesuai batas-batas tertentu menurut peraturan. Kontrol Desain yang dilakukan adalah berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kuat lentur, momen nominal, beban layan (*servicibility*) dan beban ultimate. Bila telah memenuhi, maka dapat diteruskan ke tahap penggambaran. Bila tidak memenuhi harus dilakukan re-design.

a. Perencanaan Balok Utama

Dalam merencanakan balok primer yang mampu memikul beban yang ada dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan data desain yang meliputi :
 - Data properti material.
 - Dimensi balok primer.
 - Denah struktur.
2. Menganalisis struktur dengan menggunakan program bantu sehingga didapatkan gaya-gaya dalam yang dibutuhkan dalam desain.

3. Menghitung rasio tulangan
4. Menghitung kapasitas momen nominal (M_n)
5. Menghitung kapasitas geser
6. Menghitung dan mengontrol lendutan
7. Pengontrolan terhadap retak

b. Perencanaan Kolom

Kolom direncanakan menggunakan tulangan baja. Langkah-langkah dalam merencanakan kolom tersebut antara lain:

1. Menentukan data perencanaan yang meliputi :
 - Data properti material
 - Dimensi Kolom
 - Potongan memanjang dan melintang struktur
2. Menganalisis struktur dengan menggunakan program bantu sehingga didapatkan gaya-gaya dalam yang dibutuhkan dalam perencanaan.
3. Mengontrol kelangsingan kolom untuk kolom tak bergoyang dan kolom bergoyang.
4. Mencari rasio tulangan yang dibutuhkan pada diagram interaksi.
5. Mengontrol rasio tulangan yang didapat dari langkah 4 terhadap rasio tulangan baja yaitu (0,001 s/d 0,008).
6. Mengontrol kemampuan kolom dalam menahan kombinasi lentur dan biaxial.
7. Menghitung kapasitas geser.
8. Menentukan panjang lewatan mengacu pada SNI 2847-2013
9. Menentukan panjang penyaluran mengacu pada SNI 2847-2013

3.2.10 Perencanaan Balok Prategang

Langkah-langkah dalam perencanaan balok prategang adalah sebagai berikut:

3.2.10.1 Pemilihan Jenis Beton Prategang

Melakukan pemilihan terhadap jenis beton prategang yang akan digunakan dalam perencanaan, meliputi :

- a. Pada perencanaan ini dipilih beton prategang pascatarik (post tension) dimaksudkan agar pengecoran langsung dilapangan dan dapat dikontrol untuk jacking.
- b. Pada perencanaan beton prategang dipilih dengan adanya grouting, karena lebih menyatunya antara baja dan beton, dan juga mengurangi kehilangan prategang.

3.2.10.2 Gaya Prategang

Penentuan gaya prategang awal, dimana momen total sangat mempengaruhi. Gaya prategang ini yang kemudian disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai dengan pemilihan penampang (Lin and Burn 1996 subbab 6-1).

$$F = \frac{M_T}{0,65h} \quad \text{.....Pers 3.19}$$

Dimana M_T adalah momen akibat beban mati tambahan, berat sendiri dan beban hidup dan h adalah tinggi balok.

3.2.10.3 Penetapan Dan Tata Letak Kabel

Penetapan jenis dan penentuan daerah batas kabel yang sesuai dengan kriteria perencanaan sehingga tidak melampaui batasan yang diijinkan. Jenis kabel yang dipilih dan jumlahnya mempengaruhi letak kabel, dimana terdapat batasan agar tidak melebihi batas kriteria.

3.2.10.4 Indeks Beton Prategang Parsial dan Beton Bertulang

Beberapa indeks telah diusulkan untuk menggambarkan fungsi dari beton prategang pada struktur. Indeks ini berguna dalam membandingkan kinerja relatif dari elemen yang dibuat dari materi yang sama, tapi dalam menggunakan indeks ini harus hati-hati untuk menentukan nilai absolut dari hal-hal seperti deformasi dan lebar retak. Dua indeks yang paling umum adalah tingkat prategang λ , dan prategang parsial ratio (PPR). Indeks ini didefinisikan sebagai

$$\lambda = \frac{M_{dec}}{M_D + M_L} \quad \text{.....Pers 3.20}$$

keterangan :

M_{DEC} = momen dekompresi (momen total tepat pada serat bawah mengalami tegangan = 0);

M_D = momen beban mati

M_L = momen beban hidup

$$PPR = \frac{M_{np}}{M_n} \quad \text{.....Pers 3.21}$$

keterangan :

M_{np} = kapasitas momen nominal dari beton prategang.

M_n = Total kapasitas momen nominal.

Dalam ekspresi sebelumnya, semua momen dihitung pada bagian kritis. Umumnya akan digunakan PPR untuk menggambarkan tingkat prategang pada elemen lentur. studi dan contoh-contoh yang dijelaskan dalam penelitian sebelumnya biasanya $PPR < 1$, dan elemen adalah pra tarik kecuali dinyatakan lain.

Karakterisasi jumlah total tulangan lentur dalam elemen juga penting. Hal ini akan dilakukan dengan Indeks penulangan ω

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c} + \rho_p \frac{f_{ps}}{f'_c} - \rho' \frac{f_y}{f'_c} \leq 0,3 \quad \text{.....Pers 3.22}$$

Dimana :

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd}$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{bd_p}$$

Keterangan :

A_{ps} = luas tulangan prategang di zona penegangan, (mm^2);

A_s = luas tulangan nonprestressed, (mm^2);

A'_s = luas kompresi tulangan nonprestressed, (mm^2);

b = lebar elemen, (mm);

d = jarak dari serat tekan paling jauh ke centroid dari

- nonprestressed, (*mm*);
 d_p = jarak dari serat tekan paling jauh ke centroid tulangan prategang, (*mm*);
 f'_c = kuat tekan beton, (*MPa*);
 f_{ps} = tegangan nominal prategang, (*MPa*)
 f_y = tegangan leleh tulangan nonprestressed, (*MPa*).

3.2.10.5 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang terjadi pada saat transfer tegangan dan secara menerus menurut fungsi waktu. Dilakukan perhitungan agar didapatkan nilai prategang efektif. Perhitungan kehilangan gaya prategang meliputi :

a. Akibat perpendekan elastis beton

Untuk tendon yang lebih dari satu maka kehilangan akibat perpendekan elastis dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n} \sum (\Delta f_{pES}) \quad \text{.....Pers 3.23}$$

dengan nilai f_{cir} sebagai berikut

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2} \right) + \frac{M_D \times e}{I_c} \quad \text{.....Pers 3.24}$$

Keterangan :

P_i :Gaya prategang awal sebelum terjadi kehilangan

e :Eksentrisitas Tendon

M_D :Momen akibat berat sendiri beton

A_c :Luas penampang balok

r^2 :kuadrat dari jari-jari girasi

I_c :momen inersia beton

b. Akibat rangkak

perhitungan rangkak didasarkan pada perhitungan untuk bonded tendon (tendon terekat) sebagai berikut.

$$\Delta f_{pCr} = nK_{re}(f_{cs} - f_{csd}) \quad \text{.....Pers 3.25}$$

(Nawy, 2001 pers 3.11b)

Dimana :

Δf_{pCr} = Tegangan yang hilang akibat rangkai

n = Ratio modulus (perbandingan E_s dan E_c)

K_{cr} = Koefisien creep 1.6 untuk post tension dan 2 untuk pretension

f_{cs} = Tegangan beton pada daerah cgs akibat gaya prategang sesaat setelah transfer

f_{csd} = Tegangan beton di daerah cgs setelah beban mati tambahan bekerja.

c. Akibat susut

Besarnya nilai kehilangan akibat susut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta f_{pSH} = 8.2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left(1 - 0.0236 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \quad \dots \text{Pers 3.26}$$

Keterangan :

Δf_{pSH} = Tegangan yang hilang akibat susut

E_s = Modulus elastisitas batang prategang = 2×10^5

K_{SH} = Koefisien susut sebesar 1 untuk pre tension dan sesuai Tabel 3.1 untuk post tension

RH = Kelembaban udara relatif sekitar diambil 78%

$\frac{V}{S}$ = Ratio volume-permukaan (dalam satuan centimeter)

Tabel 3. 2 Koefisien Susut Pascatarik (*Post tension*)

Waktu dari akhir perawatan basah hingga pemberian prategang, hari	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Sumber: Prestressed Concrete Institute

Jika perawatan dilakukan sesuai dengan SNI 2847-2013 yaitu selama 5 hari setelah pengecoran dan penarikan dilakukan setelah 7 hari dilakukan pengecoran maka nilai sesuai Tabel 3.2 K_{SH} diambil dari akhir perawatan hingga penarikan yaitu dari hari

ke 5 hingga ke 7 maka nilai $K_{SH} = 0,8$

d. Akibat relaksasi baja

Besarnya nilai kehilangan akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta f_{pRe} = f_{ci} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left(\frac{f_{ci}}{f_{py}} - 0.55 \right) \quad \text{.....Pers 3.27}$$

(Nawy, 2001)

$$RET_1 = \Delta f_{psR} \times A_{ps} \quad \text{.....Pers 3.28}$$

Keterangan :

Δf_{pRe} = Tegangan yang hilang akibat relaksasi baja

RET_1 = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja tahap 1

A_{ps} = Luas penampang tendon prestress

f_{ci} = Tegangan prategang awal setelah jacking dan kehilangan langsung

f_{py} = Tegangan leleh tendon prategang

t_1 = Waktu awal interval tahapan yang dihitung

t_2 = Waktu akhir interval tahapan yang dihitung

e. Akibat gesekan dan wobble effect

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_2 = F_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))} \quad \text{.....Pers 3.29}$$

$$\Delta F_{pF} = F_1 - F_2 \quad \text{.....Pers 3.30}$$

$$\alpha = \frac{8f}{L} \quad \text{.....Pers 3.31}$$

Keterangan:

F_2 = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan akibat friction

ΔF_{pF} = Besarnya gaya kehilangan prategang akibat friksi

F_i = Gaya awal prategang

α = Sudut Kelengkungan

μ = Koefisien friksi (gesekan)

- K = Koefisien woble
 L = Panjang bersih balok
 f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs)

Tabel 3. 3 Koefisien Gesek Kelengkungan dan *Woble* untuk tendon pasca-tarik (sumber : Tabel 4 SNI 2847-2013)

		Koefisien wobble, K per meter	Koefisien kelengkungan, μ_p Per radian
Tendon digROUT pada metal pelapis		Tendon kawat	0,0033 - 0,0049
		Batang tulangan kekuatan tinggi	0,0003 - 0,0020
		Strand 7 kawat	0,0016 - 0,0066
Tendon tanpa lekatan	Dilapis plastik (Mastic)	Tendon kawat	0,0033 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0033 - 0,0066
	Diminyaki sebelumnya (Pre-greased)	Tendon kawat	0,0010 - 0,0066
		Strand 7 kawat	0,0010 - 0,0066

Gambar 4. 1

f. Akibat kedudukan angker

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip angkur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{pA} = \Delta f_{pA} \times A_{ps} \quad \dots \text{Pers 3.32}$$

$$\Delta f_{pA} = 2f_{st} \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) \times x \quad \dots \text{Pers 3.33}$$

Keterangan:

- F_{pA} = Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur
 A_{ps} = Luas penampang tendon
 Δf_{pA} = Jumlah hilangnya tegangan prategang akibat angkur
 f_{st} = Besarnya tegangan ijin baja tendon minimum yang disyaratkan SNI 2847-2013
 α = Sudut Kelengkungan
 μ = Koefisien friksi (gesekan)
 K = Koefisien woble
 L = Panjang bersih balok
 X = Koefisien slip angkur berdasarkan bentuk profil tendon (digunakan profil tendon berbentuk parabola)

$$X = \frac{E_{ps} \times g}{f_{st} \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)} < \frac{L}{2}$$

.....Pers 3.34

3.2.10.6 Kontrol Tegangan

1. Tegangan tarik pada baja prategang, tidak boleh melampaui nilai - nilai berikut sesuai SNI 2847-2013 pasal. 18.5.1

- a. Tegangan ijin akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang, $0,8f_{pu}$ atau $0,94f_{py}$ diambil yang lebih kecil, tetapi tidak lebih besar dari nilai maksimum yang diusulkan oleh pembuat kabel atau angkur
- b. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang tegangan ijin tendon memiliki nilai $0,82f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74f_{pu}$
- c. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan kopel (couplers) sesaat setelah penyaluran gaya prategang, $0,70f_{pu}$

Namun berdasarkan Lin dan Burns persamaan di atas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya prategang.

2. Tegangan ijin beton, tidak melampaui nilai - nilai berikut:

Kekuatan desain komponen struktur prategang terhadap beban lentur dan aksial harus didasarkan pada klasifikasi sebagai kelas U, kelas T, atau kelas C berdasarkan f_t , tegangan serat terluar dalam zona Tarik pra-tertekan yang dihitung pada tahap beban layan sebagai berikut :

$$\text{Kelas U : } ft \leq 0,62\sqrt{f'_c}$$

$$\text{Kelas T : } 0,62\sqrt{f'_c} < ft \leq 1,0\sqrt{f'_c}$$

$$\text{Kelas C : } ft \leq 1,0\sqrt{f'_c}$$

a. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan tergantung waktu).

- Tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut:

$$\text{Tekan} = 0,6f'_{ci} \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 18.4.1)}$$

- Tegangan serat-serat terluar pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana:

$$\text{Tekan} = 0,7f'_{ci} \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 18.4.1)}$$

- Jika kekuatan tarik beton yang dihitung, f_t , melebihi $0,5\sqrt{f'_{ci}}$ pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana, atau $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ pada lokasi lainnya, maka harus dipasang tulangan lekatan tambahan dalam zona Tarik untuk menahan gaya Tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi penampang yang tidak retak.

- Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya prategang yang diijinkan, untuk komponen lentur prategang kelas U dan kelas T.

- tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap:

$$\text{Tekan} = 0,45f'_c \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 18.4.2)}$$

- tegangan serat-serat terluar dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total:

$$\text{Tekan} = 0,6f'_c \text{ (SNI 2847-2013 Ps. 18.4.2)}$$

3.2.10.7 Kekuatan Batas Balok Prategang

Perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar $0,62\lambda\sqrt{f_c}$ (SNI 2847-2013 ps. 9.5.2.3) sehingga didapat $\phi M_n \geq 1,2M_{Cr}$ dengan nilai $\phi = 0,9$ (SNI 2847-2013 ps. 9.3).

Kekuatan batas balok prategang yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai berikut :

$$1,2M_{Cr} \leq M_u \leq \phi M_n \quad \text{.....Pers 3.35}$$

Keterangan :

M_{cr} = momen retak balok prategang

M_u = momen ultimate balok prategang

$\emptyset Mn$ = kapasitas penampang balok prategang

Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan) :

$$-f_r = \frac{F_e}{A} + \frac{F_e \times e}{I} \times Y - \frac{M_{Cr} \times Y}{I} \quad \text{.....Pers 3.36}$$

$$M_{Cr} = \left(\frac{F_e}{A} \times \frac{I}{Y} \right) + \left(\frac{F_e \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{Y} \right) + \left(f_r \times \frac{I}{Y} \right) \quad \text{.....Pers 3.37}$$

Keterangan :

F_e = Gaya prategang efektif setelah kehilangan

I = Inertia balok

e = Eksentrisitas dari cgc

A = Luas penampang balok

y = Garis netral balok

f_r = Modulus keruntuhan = $0,62\sqrt{f_c}$

3.2.10.8 Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang disyaratkan.

Lendutan yang bekerja antara lain :

- Lendutan Akibat Tekanan Tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_c \times I} (\uparrow) \quad \text{.....Pers 3.38}$$

dengan nilai P sebesar

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2} \quad \text{.....Pers 3.39}$$

Keterangan :

F_o = Gaya Prategang (N)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (dalam mm)

- Lendutan Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

Eksentrisitas tepi balok terhadap cgc pada letak tendon menyebabkan lendutan ke arah bawah (karena menyebabkan momen negatif). Besarnya lendutan ini dipengaruhi oleh momen akibat gaya dan eksentrisitas tepi balok terhadap cgc. Besarnya nilai lendutan yang diakibatkan oleh eksentrisitas adalah:

$$\Delta l_{me} = \frac{F_o \times e \times l^2}{8E_C \times I} \quad (\downarrow) \quad \text{.....Pers 3.40}$$

Keterangan :

F_o = Gaya Prategang (N)

e = eksentrisitas terhadap cgc pada tepi balok

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (dalam mm)

- Lendutan Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri adalah:

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_C \times I} \quad (\downarrow) \quad \text{.....Pers 3.41}$$

Keterangan :

q_o = Berat sendiri saat jacking (N/mm)

f = Fokus tendon (eksentrisitas dari cgs, mm)

l = Panjang Efektif (dalam mm)

E_C = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

I = Inertia Balok (mm)

Total lendutan yang terjadi dibagi menjadi dua pada saat awal transfer gaya prategang dan setelah terjadi kehilangan, dimana terdapat perbedaan besar nilai gaya prategang yang bekerja.

3.2.10.9 Perhitungan Geser

Besarnya kebutuhan tulangan geser yang diperlukan oleh balok adalah $V_s = V_u - \phi V_c$ dimana V_u adalah gaya geser ultimate yang terjadi sedangkan ϕV_c adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton. Untuk komponen balok prategang nilai ϕV_c diambil nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw} sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.3.3

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser (V_{ci})

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c} \times b_w \times d_p + V_d + \frac{V_i \times M_{cre}}{M_{max}} \quad \dots \text{Pers 3.42}$$

Dimana:

V_i : Gaya geser terfaktor akibat beban luar yang terjadi bersamaan dengan M_{max}

M_{cre} : Momen yang menyebabkan retak lentur penampang

M_{max} : Momen terfaktor maksimum

V_d : Gaya geser penampang akibat beban mati tidak terfaktor

d_p : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

b_w : Lebar penampang balok

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang (V_{cw})

$$V_{cw} = (0,3fp_c + 0,29\lambda\sqrt{f'_c}) \times b_w \times d + V_p \quad \dots \text{Pers 3.43}$$

Dimana:

V_p : Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang

- f_{pc} : Tegangan tekan pada beton setelah mengalami kehilangan pada titik berat penampang
 f_c : Kuat tekan beton yang disyaratkan
 d : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon
 b_w : Lebar penampang balok

3.2.10.10 Blok Angkur Ujung

Pada balok prategang pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya prategang maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuranglobal di isyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.13.2.2

Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya pencar, belah dan pecah yang timbul akibat pengangkuran tendon sesuai pasal 18.13.1.2

3.2.11 Gambar Kerja

Apabila analisa dan kontrol desain baik pada beton bertulang biasa maupun pada balok prategang sudah selesai, maka untuk mengetahui hasil akhir perhitungan perlu dibuat gambar teknik yang representative dari hasil analisa dan perhitungan dengan menggunakan alat bantu AutoCad.

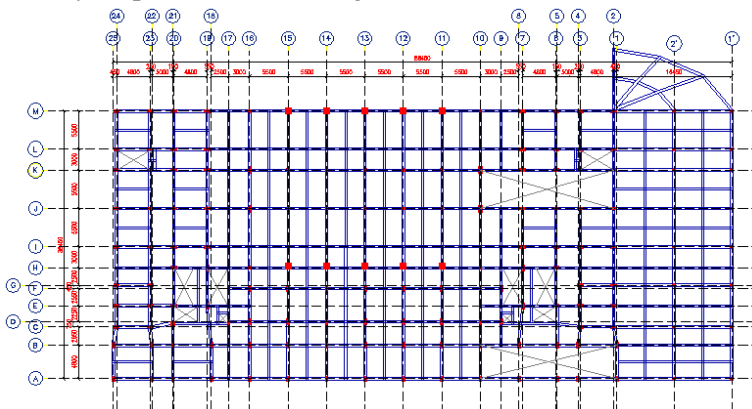
BAB IV DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR

4.1 Data Perencanaan

Bahan yang digunakan untuk struktur gedung ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut :

Tipe bangunan	: Apartemen
Tinggi Bangunan	: 44 m (13 Lantai)
Mutu Beton (f'_c) kolom	: 35 MPa
Mutu Beton (f'_c) balok dan plat	: 30 MPa
Mutu Baja (f_y) kolom dan balok	: 420 MPa
Mutu Baja (f_y) plat	: 240 MPa

Denah struktur gedung apartemen 13 lantai (Puncak Merr) Surabaya diperlihatkan sesuai gambar 4.1



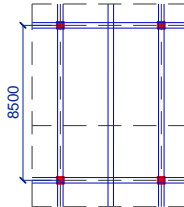
Gambar 4. 1 Denah Struktur Gedung Apartemen 13 Lantai
(Puncak Merr) Surabaya

4.2 Preliminary design Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Sesuai dengan SNI 2847-2013 ps 9.5(a), desain dimensi

balok (tinggi minimum balok) dengan bentang seperti pada gambar 4.2 adalah sbb :

- Dimensi balok primer (B1), bentang (L) = 8,5 m



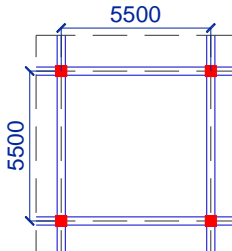
Gambar 4. 2 Balok Primer (B1)

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L = \frac{850}{16} = 53,125 \approx 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 60 = 40 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok primer memanjang (B1) adalah 40/60 cm

- Dimensi balok primer (B2), bentang (L) = 5,5 m



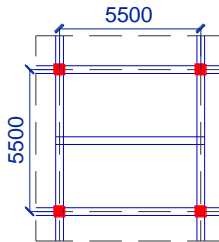
Gambar 4. 3 Balok Primer (B2)

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L = \frac{550}{16} = 34,375 \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 50 = 33,333 \approx 35 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok primer memanjang (B2) adalah 35/50 cm

- Dimensi balok sekunder (BA1), bentang (L) = 5,5 m



Gambar 4. 4 Balok Primer (BA1)

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L = \frac{550}{21} = 26,2 \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 45 = 30 \text{ cm}$$

Jadi dimensi balok sekunder (BA1) adalah 35/45 cm

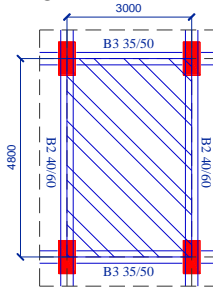
Tabel 4. 1 Resume pendimensian balok

No.	Tipe Balok	Dimensi Balok
1	Balok Induk B1	50/70
2	Balok Induk B2	40/60
3	Balok Induk B3	35/50
4	Balok Induk B4	40/60
5	Balok Induk BK1	50/70
6	Balok Induk BK2	30/50
7	Balok Induk BR	40/60
8	Balok Anak BA1	30/45
9	Balok Anak BA2	30/45
10	Balok Anak BA3	30/45

4.3 Preliminary design Pelat Lantai

Desain tebal pelat lantai parkir (tipe A)

Perhitungan tipe plat A dengan dimensi seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Tinjauan Plat Lantai Tipe A

$$L_y = 480 \text{ cm}$$

$$L_x = 300 \text{ cm}$$

$$L_n = 480 - \left(\frac{35}{2} + \frac{35}{2} \right) = 445 \text{ cm}$$

$$S_n = 300 - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 260 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{445}{260} = 1,7 < 2 \text{ (Plat 2 arah)}$$

Direncanakan dengan tebal plat, $t = 15 \text{ cm}$

$$f'_c = 25 \text{ MPa} ; f_y = 240 \text{ MPa}$$

Kontrol tebal pelat dengan menentukan koefisien α pada tiap-tiap balok yang mengelilingi pelat yang direncanakan.

1. Balok tepi kiri (40 / 60)

$$be_1 \leq 8hf + bw = (8 \times 15) + 40 = 160 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq 1/2L + bw = (1/2 \times 480) + 40 = 280 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq 1/4L = 1/4 \times 480 = 120 \text{ cm}$$

Dari ketiga nilai be di atas, untuk balok tepi kiri (40 / 60) dipakai nilai be yang terkecil yaitu 120 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{120}{40} - 1\right) \left(\frac{15}{60}\right) \left[4 - 6\left(\frac{15}{60}\right) + 4\left(\frac{15}{60}\right)^2 + \left(\frac{120}{40} - 1\right) \left(\frac{15}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{120}{40} - 1\right) \left(\frac{15}{60}\right)}$$

$$k = 1,625$$

$$I_b = 1/12 \times bw \times h^3 \times k$$

$$= 1170000 \text{ cm}^4$$

$$I_p = 1/12 \times L \times hf^3$$

$$= 135000 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p}$$

$$= \frac{1170000}{135000}$$

$$= 8,67$$

Perhitungan α pada balok tepi kiri (40 / 60) sama dengan perhitungan pada balok tepi kanan (40 / 60).

2. Balok tepi atas (35 / 50)

$$be_1 \leq 8hf + bw = (8 \times 15) + 35 = 155 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq 1/2L + bw = (1/2 \times 300) + 35 = 185 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq 1/4L = 1/4 \times 300 = 75 \text{ cm}$$

Dari ketiga nilai be di atas, untuk balok tepi atas (30 / 50) dipakai nilai be yang terkecil yaitu 137,5 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{75}{35} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right) \left[4 - 6\left(\frac{15}{50}\right) + 4\left(\frac{15}{50}\right)^2 + \left(\frac{75}{35} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{75}{30} - 1\right) \left(\frac{15}{50}\right)}$$

$$k = 1,425$$

$$I_b = 1/12 \times bw \times h^3 \times k$$

$$= 254570,31 \text{ cm}^4$$

$$I_p = 1/12 \times L \times hf^3$$

$$= 84375 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I_b}{I_p} = \frac{254570,31}{84375} = 3,02$$

Perhitungan α pada balok tepi atas (35 / 50) sama dengan perhitungan pada balok tepi bawah (35 / 50).

$$\text{Jadi, } \alpha_m = \frac{1}{4} (8,67 + 8,67 + 3,02 + 3,02) = 5,845$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 (c) dimana untuk $\alpha_m > 2$, maka ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari 90 mm, } f_y$$

diambil sebesar 400 MPa untuk kebutuhan tulangan pelat.

$$h = \frac{4500(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + (9 \times 1)} = 108,57 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

Jadi pelat lantai dengan tebal 15 cm dapat digunakan, yakni pada pelat lantai parkir. Selanjutnya direncanakan tebal pelat lantai hunian dengan ketebalan 12 cm dan lantai kolam renang dengan ketebalan 20 cm.

Tabel 4. 2 Resume ketebalan pelat

Tipe Pelat	Tebal	ket
A (parkir)	15 cm	2 arah
B (kolam)	20 cm	2 arah
C (hunian)	12 cm	2 arah
D (ramp)	15 cm	2 arah
E (tangga)	15 cm	2 arah

4.4. Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 8.10.1 bahwa kolom harus direncanakan menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada suatu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau.

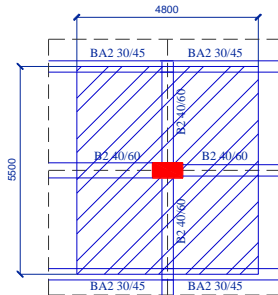
Gaya aksial yang bekerja pada kolom berupa beban mati dan beban hidup yang diatur SNI 1727-2013. Pada pasal 3.1 menyatakan bahwa beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya. Dalam menentukan beban mati untuk perencanaan, harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan bahwa jika tidak ada informasi yang jelas, nilai yang harus digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang.

Sedangkan pada pasal 4 disebutkan bahwa beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Pada perencanaan ini digunakan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung 1983 untuk menentukan beban mati dan hidup.

4.4.1 Perhitungan Dimensi Kolom

Direncanakan :

Tebal pelat dasar – lantai 4	: 15 cm
Tebal pelat lantai 5	: 20 cm
Tinggi lantai 1 – lantai 2	: 3 m
Tinggi lantai 3	: 4 m
Tinggi lantai 4	: 5 m
Tinggi lantai 5 – lantai 13	: 3 m
Bentang beban arah X	: 4,80 m
Bentang beban arah Y	: 5,50 m
Direncanakan dimensi kolom	: 50 cm x 80 cm
Daerah pembebanan kolom dapat dilihat pada gambar 4.6	



Gambar 4. 6 Pembebanan kolom

Beban mati seperti ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Beban mati pelat untuk kolom

Jenis beban	arah x (m)	arah y (m)	t (m)	Bv (kg/m ³)	Bj (kg/m ²)	N lantai	Berat (kg)
Lantai Parkir dan Hunian							
Pelat lantai 15 cm	4.8	5.5	0.15	2400	-	4	38016
Balok 30/45	4.8	0.30	0.45	2400	-	13	20217.6
Balok 30/45	4.8	0.35	0.45	2400	-	13	23587.2
Balok 40/60	4.8	0.40	0.60	2400	-	13	35942.4
Balok 40/60	5.5	0.40	0.60	2400	-	13	41184
kolom 50 x 80	0.50	0.80	3	2400	-	11	31680
	0.50	0.80	4	2400	-	1	3840
	0.50	0.80	5	2400	-	1	4800
Dinding	4.8	-	4	-	250	1	4800
	-	5.50	3	-	250	11	45375
	-	5.50	5	-	250	1	6875
Plafond	4.8	5.5	-	-	11	5	1452
Penggantung	4.8	5.5	-	-	7	5	924
Keramik	4.8	5.5	-	-	24	5	3168
Spesi	4.8	5.5	-	-	21	5	2772
Sanitasi	4.8	5.5	-	-	20	5	2640
Ducting	4.8	5.5	-	-	15	5	1980
Plumbing	4.8	5.5	-	-	10	5	1320

Jenis beban	arah x (m)	arah y (m)	t (m)	Bv (kg/m ³)	Bj (kg/m ²)	N lantai	Berat (kg)
Lantai Atap							
Pelat lantai 12 cm	4.8	5.5	0.12	2400	-	1	7603.2
Balok 30/45	4.8	0.30	0.45	2400	-	1	1555.2
Balok 30/45	4.8	0.35	0.45	2400	-	1	1814.4
Balok 40/60	4.8	0.40	0.60	2400	-	1	2764.8
Balok 40/60	5.5	0.40	0.60	2400	-	1	3168
Plafond	4.8	5.5	-	-	11	1	290.4
Penggantung	4.8	5.5	-	-	7	1	184.8
Spesi	4.8	5.5	-	-	21	1	554.4
Aspal	4.8	5.5	-	-	14	1	369.6
Ducting	4.8	5.5	-	-	15	1	396
Plumbing	4.8	5.5	-	-	10	1	264
Total Beban Mati (DL)							289538

Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.8.2 menyatakan bahwa beban hidup untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih boleh direduksi sebesar 20%, sehingga koefisien reduksi untuk beban hidup adalah 0,8. Jadi total untuk beban hidup adalah sebesar :

$$LL = 0,8 \times 93720 \text{ kg} = 74972 \text{ kg}$$

Maka berat total (Wt)

$$\begin{aligned} Wt &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \times 289538 \text{ kg}) + (1,6 \times 74972 \text{ kg}) \\ &= 467400,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Mutu beton f'_c sebesar 35 MPa = 350 kg/cm², sehingga nilai luas minimal (A_{\min}) kolom :

$$A_{\min} = \frac{Wt}{0,35 \times f'_c} = \frac{467400}{0,35 \times 350} = 3815,5 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Dimensi kolom (A)} &= b \times h \\ &= 50 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} = 4000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Maka dimensi kolom sebesar 50 cm x 80 cm ($A > A_{\min}$) dapat digunakan.

Tabel 4. 4 Resume pendimensian kolom

No.	Tipe Kolom	Dimensi Kolom
1	Kolom K1	50/80
2	Kolom K2	50/50
3	Kolom K3	85/85
4	Kolom K4	50/50
5	Kolom K5	40/40
6	Kolom KR	40/40

4.5 Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur ini terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, dan beban hujan yang mengacu pada SNI Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013), serta beban gempa yang mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Beban-beban yang bekerja secara detail, dijabarkan sebagai berikut :

- **Beban Mati**

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi, komponen arsitektural lainnya yang terpasang pada gedung.

Beban mati pada perencanaan gedung ini meliputi berat sendiri dari masing-masing elemen struktur seperti berat pelat, balok, dan kolom serta struktur atap. Besarnya beban-beban mati tersebut secara otomatis telah diperhitungkan dalam permodelan struktur gedung. Adapun dasar perhitungan beban mati adalah dimensi elemen struktur tersebut dikalikan dengan berat jenis

bahan konstruksi gedung yang antara lain dapat dilihat sebagai berikut :

- a. Beban dinding bata ringan : 108 kg/m^1
- b. Finishing lantai dan plafond (Dead++) : 150 kg/m^2

• **Beban Hidup**

Beban hidup lantai yang bekerja dalam struktur ini berupa beban terbagi rata sesuai fungsi ruangnya, yang besarnya diambil sebesar :

- a. Beban hidup lantai ruang hunian : 200 kg/m^2
- b. Beban hidup lantai atap : 100 kg/m^2
- c. Beban hidup lantai kolam renang : 1200 kg/m^2

• **Beban Gempa**

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Surabaya–Jawa Timur. Berdasarkan SNI 1726-2012, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun.

Untuk wilayah gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 14, ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik).

Faktor keutamaan dari gedung ini yang merupakan bangunan perkantoran memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) 1, karena sesuai tabel 1 SNI 1726-2012 bangunan gedung apartemen termasuk dalam kategori resiko II.

Tabel 4. 5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa (SNI 1726-2012, Tabel 1)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 4. 6 Faktor Keutamaan Gempa
(SNI 1726-2012, Tabel 2)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Respons spektral merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan tahan gempa. Respons spektral menggambarkan respon maksimum dari suatu sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik berupa percepatan (a), kecepatan (v) maupun perpindahan (d) untuk periode natural tertentu akibat beban gempa. Absis dari respons spektral adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektral adalah respon maksimum yang dikehendaki. Absis dan ordinat kurva respons spektral dapat dinyatakan dalam spektra perpindahan (S_d) dan spektra percepatan (S_a).

Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektral berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 adalah:

Parameter percepatan batuan dasar

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun.

Tabel 4. 7 Klasifikasi Situs
(SNI 1726-2012, Tabel 3)

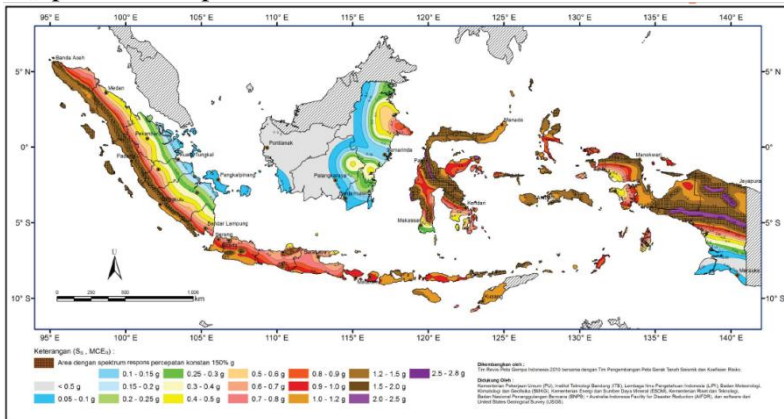
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{eq}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

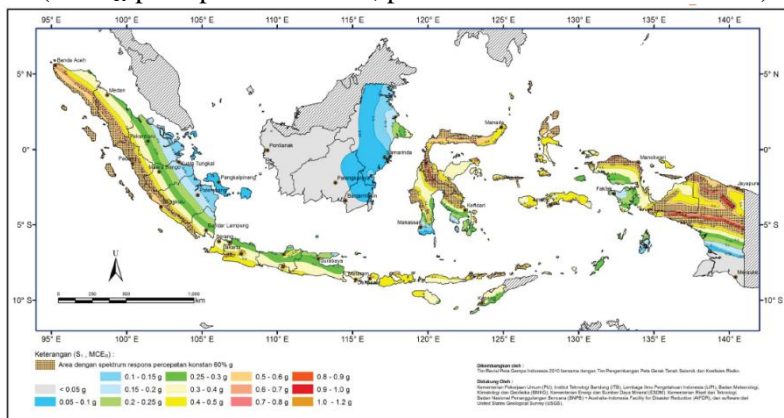
Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa (MCE_R) di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Berdasarkan pasal 6.2 SNI 1726-2012, faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dilihat pada tabel 4 pasal 6.2 SNI 1726-2012 dan faktor amplifikasi

terkait percepatan yang mewakili getaran periode pendek 1 detik (F_v) pada tabel 5 pasal 6.2 SNI 1726-2012.



Gambar 4. 7 Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R -percepatan 0.2 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)



Gambar 4. 8 Peta Wilayah Gempa Indonesia yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R -percepatan 1 detik, probabilitas 2% dalam 50 tahun)

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan perumusan berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,38 \cdot 0,663 = 0,915$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 3,01 \cdot 0,248 = 0,746$$

Dimana :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

F_a = Koefisien situs pada tabel 4 SNI 1726-2012 untuk periode pendek ($F_a = 1.38$).

F_v = Koefisien situs pada tabel 5 SNI 1726-2012 untuk periode 1 detik ($F_v = 3.01$).

Tabel 4. 8 Koefisien Situs, F_a
(SNI 1726-2012, Tabel 4)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Tabel 4. 9 Koefisien Situs, F_v
(SNI 1726-2012, Tabel 5)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^a				

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Parameter percepatan spektral rencana.

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} = \frac{2}{3} \cdot 0,915 = 0,61$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} = \frac{2}{3} \cdot 0,746 = 0,50$$

Dimana :

SD_S = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode pendek

SD_1 = Parameter respons spektral percepatan rencana pada periode 1 detik.

Semua parameter respon rencana diplot dalam grafik dan menghasilkan respons spektral rencana.

Prosedur pembuatan respons spektral desain berdasarkan SNI 1726-2012

Untuk nilai T_o dan T_s , dapat digunakan rumus berikut :

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \cdot \frac{0,5}{0,61} = 0,16$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,5}{0,61} = 0,82$$

Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right)$$

Untuk $T=0$, maka S_a dapat dihitung sebagai berikut

$$S_a = 0,68 \cdot \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{0}{0,16} \right) = 0,24$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s spectrum respon disain $S_a = S_{DS}$ untuk periode lebih besar dari T_s spectrum respon percepatan disain S_a diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

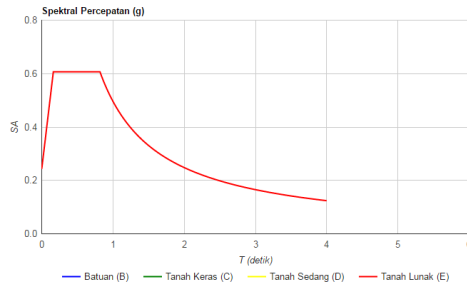
Dimana :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

T = Periode getar fundamental struktur.

Hasil dari perhitungan respons spektrum dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4. 9 Spektrum Respons Desain

Kategori Desain Seismik

Setiap struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Kategori desain seismik yang diklasifikasikan oleh SNI 1726-2012 dapat dilihat pada tabel 5.6 dan 5.7

Tabel 4. 10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726-2012, Tabel 6)

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 4. 11 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SNI 1726-2012, Tabel 7)

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan tabel 4.9 dan 4.10, gedung ini memiliki kategori desain seismik D. Berdasarkan Tabel 4.11, didapatkan koefisien:

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

- $R = 8$ (Modifikasi respons)
- $C_d = 5.5$ (Faktor pembesaran defleksi untuk Sistem Rangka beton Bertulang Pemikul Momen Khusus dengan kategori desain seismik D)

Tabel 4. 12 Sistem Penahan Gaya Gempa
(SNI 1726-2012, Tabel 9)

C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 ^{kl}	TI ^a	TI ^c
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	TI ^a	TI ^a	TI ^c
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3%	3 ^a	3%	10	10	10	10	10

4.5.1 Kombinasi Pembebanan

Setelah diketahui beban-beban yang bekerja pada elemen struktur maka dalam pendesainan elemen struktur digunakan kombinasi pembebanan untuk mendapatkan pembebanan yang maksimum yang mungkin terjadi pada saat beban bekerja secara individual maupun bersamaan.

Konfigurasi kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2012 dapat dilihat sebagai berikut :

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0E$

4.5.2 Peninjauan terhadap Pengaruh Gempa

Simulasi pembebanan terhadap beban gempa ditinjau secara statik maupun dinamis, sedangkan besaran gaya gempa statik ekuivalen merujuk pada persamaan pada SNI 1726-2012 :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat total gedung

Penentuan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

- C_s
$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan hunian

- **Cs maksimum**
$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana :

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode 1 detik

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan hunian

T = Periode struktur dasar (detik)

harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek

I_e = Faktor keutamaan hunian

- **Cs minimum**

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0.6g, maka C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dimana :

S_1 = Parameter percepatan spektrum respons desain yang dipetakan

R = Faktor modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan hunian

Pembebanan gempa horizontal dibagi ke dalam dua arah yaitu :

- Gempa arah x dengan komposisi 100% V_x + 30% V_y
- Gempa arah y dengan komposisi 100% V_y + 30% V_x

4.6 Permodelan dan analisa dinamis struktur

4.6.1 Penjelasan umum

Urutan dan tahapan permodelan struktur dimasukkan sesuai dengan gambar rencana dan parameter-parameter material dan pembebanan dimasukkan sesuai dengan spesifikasi dari material yang digunakan. Setelah permodelan dan analisa struktur maka tahapan berikutnya adalah evaluasi pendetailan elemen struktur dari permodelan tersebut.

4.6.2 Permodelan Analisa Struktur

4.6.2.1 Data Masukan Material

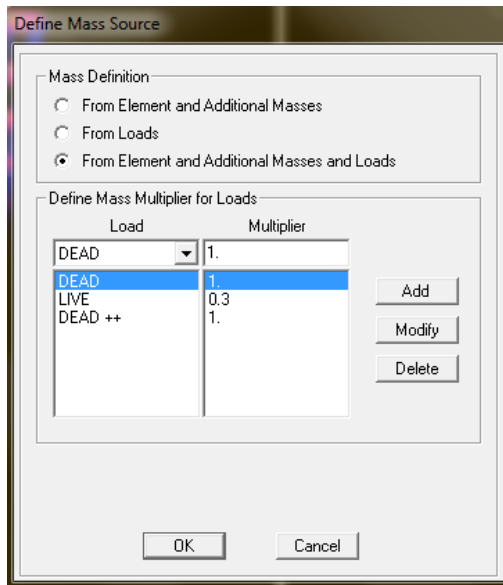
Data masukan material dalam permodelan SAP 2000 adalah data material elemen struktur beton bertulang dan elemen baja profil. Pendefinisian material tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Gambar 4. 10 *Input Form* Material Elemen Struktur pada SAP 2000

4.6.2.2 Besaran Massa

Besaran massa elemen struktur (*mass source*) adalah massa struktur pada SAP 2000 yang digunakan pada perhitungan massa untuk analisa modal menggunakan pilihan ketiga dimana berat sendiri akan dihitung oleh struktur sedangkan beban-beban tambahan ditambahkan dengan pembesaran yang sesuai dengan jenis bebannya. Massa-massa beban yang dimasukkan adalah:

- Beban Dead++ : Multiplier 1.0
- Beban Live untuk Hunian : Multiplier 0.3

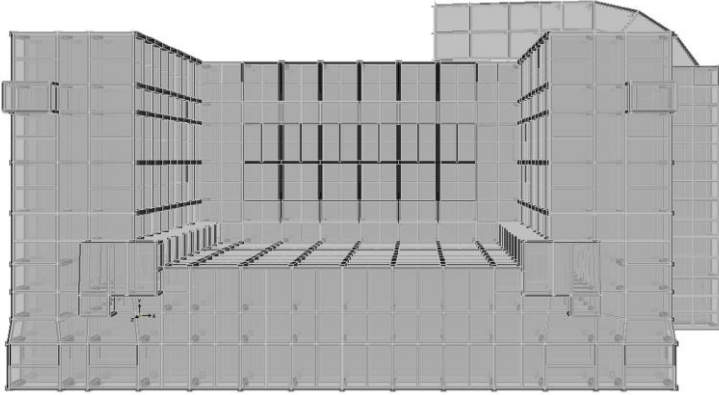


Gambar 4. 11 *Input Form Mass Source* untuk Analisa Modal pada SAP 2000.

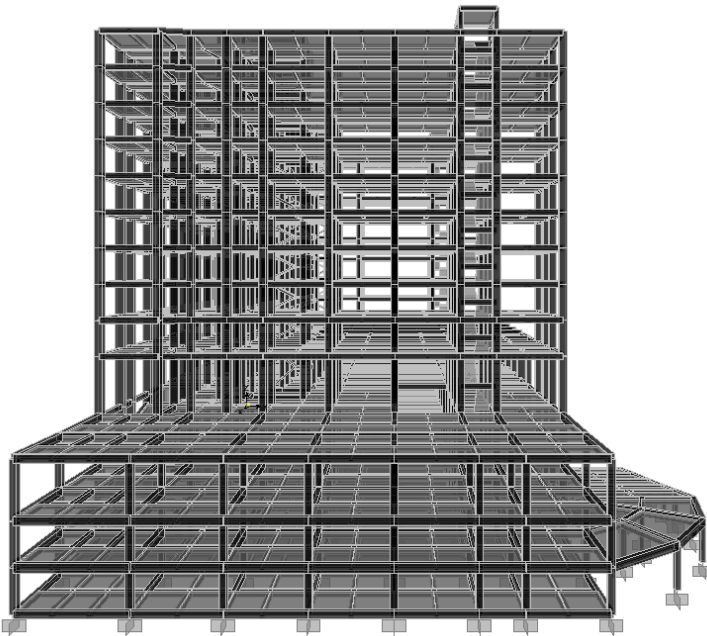
4.6.2.3 Permodelan Struktur

Analisa struktur terhadap struktur bangunan ini, menggunakan asumsi bahwa sistem struktur merupakan model space frame (3D *frame system*). Oleh karena itu elemen-elemen struktur dirancang dengan 6 derajat kebebasan pada kedua ujung nodal elemen ($UX, UY, UZ \neq 0$ dan $RX, RY, RZ \neq 0$).

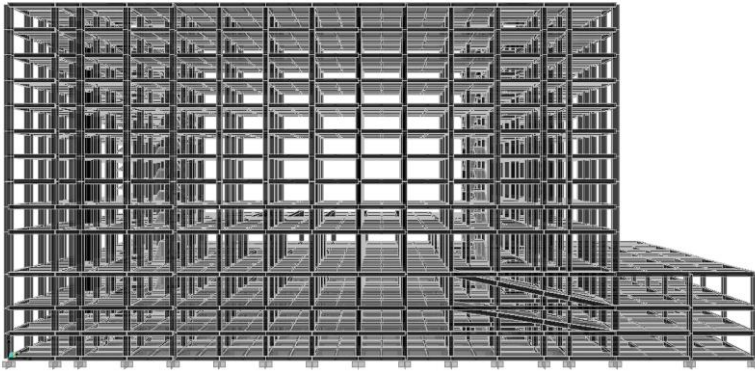
Model *undeformed shape* struktur bangunan ini dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini yang merupakan *capture picture* dari SAP 2000.



Gambar 4.12 Permodelan Struktur Tampak Atas



Gambar 4.13 Permodelan Struktur Tampak Samping (Y+)



Gambar 4. 14 Permodelan Struktur Tampak Depan (X+)

4.6.2.4 Pembebanan Gempa dengan Response Spectrum pada SAP 2000

Faktor pembesaran beban gempa diambil dari formulasi perumusan sebagai berikut :

$$LoadFactor = \frac{I}{R} g = \frac{1}{8} (9.8) = 1.225$$

Load factor tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau adalah $30\% \times 1.4 = 0.42$

4.6.2.5 Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 diambil sebanyak 50 Mode Shape untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90%. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral ke arah X dan ke arah Y. Input form untuk analisa modal dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Load Case Data - Modal

Load Case Name: Set Def Name Modify/Show...

Notes:

Load Case Type:

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case: Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case.

Number of Modes: Maximum Number of Modes: Minimum Number of Modes:

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Target Mass Participation Ratio (%)	Static Correction
Load Pattern	0640	99	No
Accel	UX	99	No
Accel	UY	99	No

Add Modify Delete

☒ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Frequency Shift (Center): OK

Cutoff Frequency (Radius): Cancel

Convergence Tolerance:

☒ Allow Automatic Frequency Shifting

Gambar 4. 15 Input Form untuk Analisa Modal SAP 2000

Tabel 4. 13 *Modal Load Participation Ratios*

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.7788	79.2621
MODAL	Acceleration	UY	99.7555	78.62
MODAL	Acceleration	UZ	16.0405	2.0049

Tabel 4. 14 *Modal Participating Mass Ratios*

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1.527055	0.0396	0.4488	2.185E-07	0.0396	0.4488	2.185E-07
2	1.47115	0.3618	0.1165	5.85E-08	0.4014	0.5653	0.000000277
3	1.386685	0.1682	0.0302	1.421E-07	0.5696	0.5954	4.191E-07
4	0.524103	0.0002028	0.0269	8.407E-09	0.5698	0.6224	4.275E-07
5	0.513408	0.0004391	0.103	9.341E-08	0.5702	0.7254	5.209E-07
6	0.493994	0.1421	0.00007492	3.644E-08	0.7123	0.7255	5.573E-07
7	0.470343	0.0006086	0.004	7.379E-08	0.7129	0.7295	6.311E-07
8	0.340037	1.16E-08	0.00002178	0.02	0.7129	0.7295	0.02
9	0.304295	0.0035	0.0506	9.198E-07	0.7165	0.7801	0.02
10	0.301188	0.00054	0.0029	2.648E-07	0.717	0.783	0.02
11	0.28928	0.058	0.0023	0.000001084	0.775	0.7854	0.02
12	0.289217	0.0176	0.0008476	1.275E-07	0.7926	0.7862	0.02

Tabel 4. 15 Modal Periods and Frequencies

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1.527055	0.65486	4.1146	16.93
MODAL	Mode	2	1.47115	0.67974	4.2709	18.241
MODAL	Mode	3	1.386685	0.72114	4.5311	20.531
MODAL	Mode	4	0.524103	1.908	11.988	143.72
MODAL	Mode	5	0.513408	1.9478	12.238	149.77
MODAL	Mode	6	0.493994	2.0243	12.719	161.78
MODAL	Mode	7	0.470343	2.1261	13.359	178.46
MODAL	Mode	8	0.340037	2.9409	18.478	341.44
MODAL	Mode	9	0.304295	3.2863	20.648	426.35
MODAL	Mode	10	0.301188	3.3202	20.861	435.19
MODAL	Mode	11	0.28928	3.4569	21.72	471.76
MODAL	Mode	12	0.289217	3.4576	21.725	471.97

4.7 Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur utama non prategang yang akan direncanakan meliputi :

1. Tangga
2. Pelat lantai

4.7.1 Perencanaan Penulangan Tangga

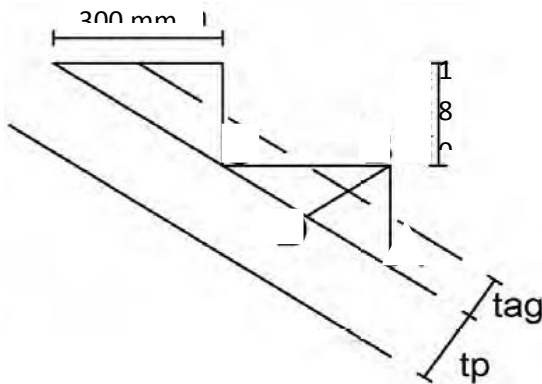
➤ Data perencanaan

Tangga akan didesain dengan meletakkan pelat bordes pada setengah tinggi antar lantai dengan data desain sebagai berikut :

Mutu beton (f'_c)	= 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
Tinggi Lt. 1	= 3000mm
Panjang bordes	= 3000mm
Lebar bordes	= 1500mm
Tinggi bordes	= 1500mm
Lebar injakan	= 300mm
Tinggi tanjakan	= 180mm
Lebar tangga	= 1400mm
Tebal pelat tangga	= 150mm
Tebal pelat bordes	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 20 mm

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05((f_c' - 28)/7) \\
 &= 0,85 - 0,05((30 - 28)/7) \\
 &= 0,84 \quad (\text{SNI 03-2847-2013 pasal (10.2.7.3)})
 \end{aligned}$$

➤ **Perencanaan Dimensi Tangga**



Gambar 4. 16 Rencana Anak Tangga

- Panjang miring anak tangga
 $= \sqrt{(300)^2 + (180)^2}$
 $= 349,86 \text{ mm}$
- Jumlah tanjakan (nt)
Tinggi bordes = 1,5 m = 1500 mm
 $nt = \text{tinggiborde} / \text{tinggi} / \text{tanjakan}$
 $= 1500 \text{ mm} / 180 \text{ mm} = 9 \text{ buah}$
- Sudut kemiringan tangga
 $\alpha = \arctan t/i$
 $= \arctan 180/300$
 $= 30,96^\circ \approx 31^\circ$
- Syarat sudut kemiringan

$$25^0 \leq \alpha \leq 40^0$$

$$25^0 \leq 31^0 \leq 40^0 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

- Tebal total tangga

$$\begin{aligned} \text{Tag} &= (i/2) \times \sin \alpha \\ &= (0.3/2) \times \sin 30.96^0 \\ &= 0.077 \text{ m} \\ \text{Tebal total tangga} &= \text{Tp} + \text{Tag} \\ &= 0.15 \text{ m} + 0.077 \text{ m} \\ &= 0.227 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ **Pembebanan**

Pembebanan beban yang ada pada komponen struktur tangga disesuaikan dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983). Dan karena komponen struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Dalam hal ini, perhitungan beban-beban tangga dibagi atas pembebanan pada anak tangga dan pembebanan pada bordes.

➤ **Pembebanan Bordes**

1. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,15\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &= 360 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat spesi 2 cm} &= 2 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 &= 42 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat railing tangga} &= 10 \text{ kg/m}^2 &= 10 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Berat keramik 1 cm} &= 24 \text{ kg/m}^2 &= 24 \text{ kg/m}^2 + \\ && \text{qDL} = 436 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

$$\text{Berat hidup bordes} \quad \text{qLL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

3. Kombinasi Pembebanan Bordes

$$\begin{aligned} \text{Qu} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= (1,2 \times 436 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1003,2 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \\ \text{q}_1 &= 1003,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

➤ **Pembebanan Pelat Anak Tangga**

1. Beban Mati

$$\text{Berat sendiri} = 0,227 \times 2400 / \cos 30,96^\circ = 635,32 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat railing tangga} = 10 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesi 2 cm} = 2 \cdot 21 \text{ kg/m}^2 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat keramik 1 cm} = 1 \cdot 24 \text{ kg/m}^2 = 24 \text{ kg/m}^2 +$$

$$q_{DL} = 711,32 \text{ kg/m}^2$$

2. Beban Hidup

$$\text{Berat hidup tangga } q_{LL} = 300 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban Ultimate (Qu)

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

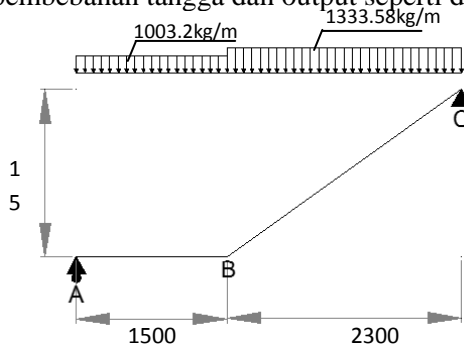
$$= (1,2 \times 711,32 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 300 \text{ kg/m}^2)$$

$$= 1333,58 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m}$$

$$q_1 = 1333,58 \text{ kg/m}$$

➤ **Analisa Struktur Tangga**

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan sendi rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :



Gambar 4. 17 Sketsa Beban Pada Tangga

Reaksi Perletakan

$$\Sigma MC = 0$$

$$Ra \cdot 3,8 - \left[(1003,2 \times 1,5) \times \left(\frac{1,5}{2} + 2,3 \right) \right] - \left[(1333,58 \times 2,3) \times \left(\frac{2,3}{2} \right) \right] = 0$$

$$Ra = \frac{4589,64 + 3527,32}{3,8}$$

$$Ra = 2136,04 \text{ kg (}\uparrow\text{)}$$

$$\Sigma MA = 0$$

$$-Rc \cdot 3,8 + \left[(1003,2 \times 1,5) \times \left(\frac{1,5}{2} \right) \right] + \left[(1333,58 \times 2,3) \times \left(\frac{2,3}{2} + 1,5 \right) \right] = 0$$

$$Rc = \frac{1128,6 + 8128,17}{3,8}$$

$$Rc = 2435,99 \text{ kg (}\uparrow\text{)}$$

Kontrol :

$$\Sigma V = 0$$

$$2136,04 \text{ kg} - (1003,2 \text{ kg/m} \times 1,5 \text{ m}) + 2435,99 \text{ kg} - (1333,58 \text{ kg/m} \times 2,3 \text{ m}) = 0$$

Perhitungan Gaya Lintang

Potongan X_1

$$Dx_1 = Ra - q_1 \cdot x_1 = 2136,04 - (1003,2 \cdot x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad D_A = 2136,04 \text{ kg}$$

$$x_1 = 1,5 \text{ m} \quad D_B = 2136,04 - (1003,2 \cdot 1,5) = 631,24 \text{ kg}$$

Potongan X_2

$$Dx_2 = -Rc + q_2 \cdot x_2 = -2435,99 + (1333,58 \cdot x_2)$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \quad D_C = -2435,99 \text{ kg}$$

$$x_2 = 2,3 \text{ m} \quad D_B = -2435,99 + (1333,58 \cdot 2,3) = 631,24 \text{ kg}$$

Perhitungan Gaya Momen

Potongan X_1

$$Mx_1 = Ra \cdot x_1 - q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1 = 2136,04 x_1 - (1003,2 \cdot x_1 \cdot \frac{1}{2} x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \quad M_A = 0$$

$$x_2 = 1,5 \text{ m} \quad M_B = 2136,04 \cdot 1,5 - (1003,2 \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,5) = 2075,46 \text{ kg.m}$$

Potongan X_2

$$M_{x_2} = R_c \cdot x_2 - q_2 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 = 2435,99 \cdot x_2 - (1333,58 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2)$$

Untuk $x_1 = 0$ m $M_C = 0$

$$\begin{aligned} x_2 &= 2,3 \text{ m} & M_B &= 2435,99 \cdot 2,3 - \\ & & & (1333,58 \cdot 2,3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,3) \\ & & & = 2075,46 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Momen Maksimum terjadi pada Tangga

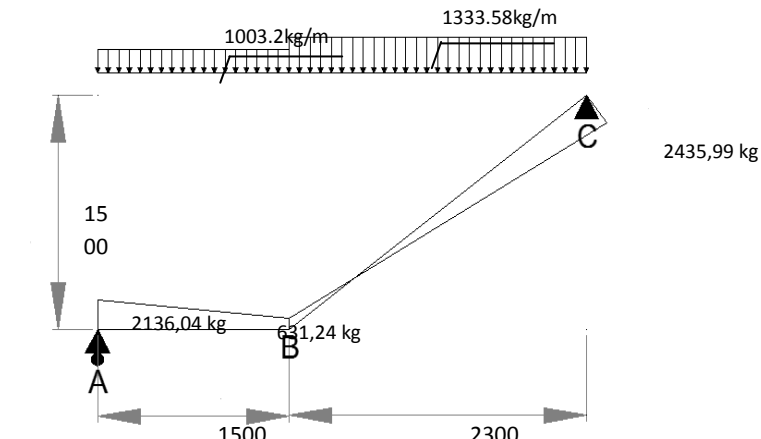
$$D_{x_2} = -R_c + (q_2 \cdot x_2) = 0$$

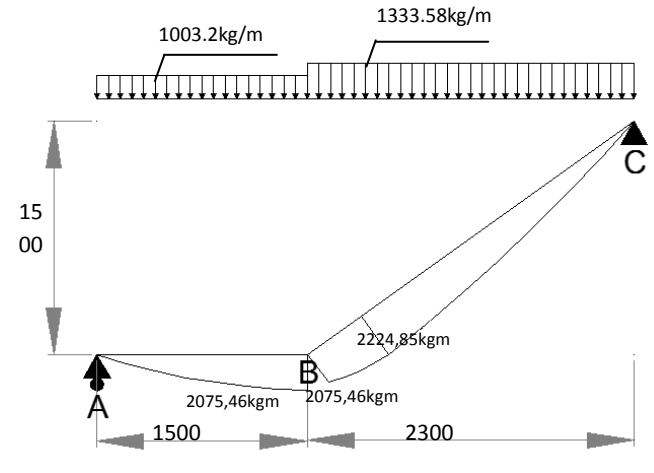
$$D_{x_2} = -2435,99 + (1333,58 \cdot x_2) = 0$$

$$x_2 = \frac{2435,99}{1333,58} = 1,83 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= R_c \cdot x_2 - q_2 \cdot x_2 \cdot \frac{1}{2} x_2 \\ &= 2435,99 \cdot 1,83 - (1333,58 \cdot 1,83 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,83) \\ &= 2224,85 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Gambar Bidang D



Gambar Bidang M

➤ Penulangan Lentur Pelat Tangga

Direncanakan :

Mutu beton (f'_c) = 30 MPa $\rightarrow \beta_1 = 0,85$

Tebal pelat (t) = 150 mm

Selimut beton = 20 mm

Ø tulangan = 16 mm

Kuat tarik (f_y) = 400 MPa

$$dx = t_{\text{pelat}} - \text{decking} - \frac{1}{2} D$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 16 \right) = 122 \text{ mm}$$

$$M_u = 2224,85 \text{ kgm} = 22248500 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{22248500}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 1,66 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,66}{400}} \right) \\ &= 0,00429 \\ \rho_{\text{min}} &= 0,002\end{aligned}$$

makadipakai ρ_{perlu}

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,00426 \times 1000 \times 122 \\ &= 519,72 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$\text{Jarak} = \frac{\frac{1000}{A_{s_{\text{perlu}}}}}{\frac{A_{s_{\text{tulangan}}}}{0,25 \times \pi \times 16^2}} = \frac{\frac{1000}{519,72}}{\frac{1000}{0,25 \times \pi \times 16^2}} = 386,87 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D 16-125 mm

$$\text{Sehingga } A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{1000}{125} \times 0,25 \times \pi \times 16^2 = 1608,5 \text{ mm}^2.$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned}S_{\text{max}} &\leq 3h \\ 125 &\leq 3 \times 150 = 450 \quad (\text{Memenuhi}) \\ S_{\text{max}} &\leq 2h \\ 125 &\leq 2 \times 150 = 300 \quad (\text{Memenuhi})\end{aligned}$$

Sehingga dipasang tulangan lentur D16 – 125 mm

- Penulangan susut

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= 0,002 \\ A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times 1000 \times 122 = 244 \text{ mm}^2 \\ \text{Direncanakan tulangan lentur D10 – 250 mm} \\ A_s \text{ Pasang} &= \frac{1000}{250} \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 314,16 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}}\end{aligned}$$

sehingga, dipasang tulangan susut D10 – 250.

➤ Penulangan Lentur Pelat Bordes

Direncanakan :

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 30 \text{ MPa} \quad \rightarrow \beta_1 = 0,84$$

$$\begin{aligned}
\text{Tebal pelat (t)} &= 150 \text{ mm} \\
\text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
\text{Ø tulangan} &= 16 \text{ mm} \\
\text{Kuat tarik (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\
dx &= t_{\text{pelat}} - \text{decking} - \frac{1}{2} D \\
&= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13 \right) \\
&= 122 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$M_u = 2075,46 \text{ kgm} = 20754600 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{20754600}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 1,55 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 1,55}{400}} \right) \\
&= 0,004
\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,002$$

makadipakaip_{perlu}

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}
A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
&= 0,004 \times 1000 \times 122 \\
&= 488 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$\text{Jarak} = \frac{\frac{1000}{A_{S_{\text{perlu}}}}}{\frac{As_{\text{tulangan}}}{0,25 \times \pi \times 16^2}} = \frac{1000}{488} = 412,012 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan D 16 - 150 mm

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga } A_s \text{ pakai} &= \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
&= 1340,41 \text{ mm}^2.
\end{aligned}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S_{max} \leq 2h$$

$$150 \leq 2 \times 150 = 300 \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan lentur D16 – 125 mm

- Penulangansusut

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,002$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,002 \times 1000 \times 122 = 244 \text{ mm}^2$$

DirecanakantulanganlenturD10 – 250 mm

$$A_{S_{\text{Pasang}}} = \frac{1000}{250} \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 314,16 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}}$$

Maka, digunakan tulangan D 10 – 250.

4.7.2 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Adapun data-data perencanaan dalam perhitungan pelat lantai area kolam renang tipe SB adalah sebagai berikut:

- Bentang Pendek (Lx)	: 2750 mm
- Bentang Panjang (Ly)	: 2750 mm
- Tebal Pelat (h)	: 200 mm
- Mutu Beton (fc')	: 30 MPa
- Mutu Baja (fy)	: 400 MPa
- Cover (t)	: 20 mm
- b	: 1000 mm
- β1	: 0.85
- D Tulangan Lentur	: 13 mm
- Ø Tulangan Susut	: 10 mm

- Rasio sumbu panjang dan sumbu pendek pelat:

$$\frac{Ly}{Lx} = \frac{2750 \text{ mm}}{2750 \text{ mm}} = 1 < 2.00$$

Maka tipe pelat PL1 termasuk dalam pelat 2 arah (*two way slab*).

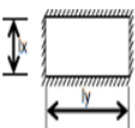
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat:

$$am = 12.5 \geq 2$$

Maka pelat termasuk dalam pelat yang kaku atau Terjepit Penuh.

Dalam perhitungan analisis pelat dua arah ini digunakan metode koefisien momen dimana koefisiennya didapatkan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 4. 16 Momen dalam pelat

		l_y/l_x	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
II		$M_{lx}=+0.001 q l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36
		$M_{ly}=+0.001 q l_x^2 X$	21	21	20	19	17	17
		$M_{tx}=-0.001 q l_x^2 X$	52	59	64	69	73	76
		$M_{ty}=-0.001 q l_x^2 X$	52	54	56	57	57	57

Dikarenakan pelat yang direncanakan terjepit penuh oleh balok pada keempat sisinya sehingga pelat tersebut termasuk dalam tipe II, besar nilai X dihitung berdasarkan tabel diatas adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{ll} \text{Lapangan } X_x = 21 & \text{dan} & X_y = 21 \\ \text{Tumpuan } X_x = 52 & \text{dan} & X_y = 52 \end{array}$$

A. Pembebanan Pelat Lantai

Pelat direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.2.(1), yaitu sebesar :

1. Beban Mati (D)

Jenis Beban	Tebal (m)	Bv (kg/m ³)	Bj (kg/m ²)	Jumlah	Berat (kg/m ²)
Berat sendiri pelat	0,2	2400	-	1	480
Spesi 2 cm			21	2	42
Penggantung			7	1	7
Plafond			11	1	11
Keramik 1 cm			24	1	24
Utilitas			40	1	40
				qD =	604

2. Beban Hidup (L) Kolam Renang Tipe SB

Beban hidup (L_o) = $1,92 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727-2013 Tabel 4-1)

Luas tributary (A_T) = $2,75 \times 2,75 = 7,56 \text{ m}^2$

K_{LL} = 1 (SNI 1727-2013 Tabel 4-2)

$K_{LL} A_T$ = $7,56 \times 1 = 7,56 \text{ m}^2$

$7,56 \text{ m}^2 \leq 37,16 \text{ m}^2$ (beban hidup tidak boleh direduksi)

Maka, beban hidup kolam renang $1,92 \text{ kN/m}^2 = 192 \text{ kg/m}^2$

3. Kombinasi Pembebanan

Q_u = $1,2D + 1,6L + 0,5(L_{ratauR})$

= $(1,2 \times 604) + (1,6 \times 192)$

= 1032 kg/m^2

Maka, digunakan $Q_u = 1032 \text{ kg/m}^2$

B. Perhitungan Momen-momen pelat:

$$\begin{aligned} M_{lx} &= +0,001 \times q \times Lx^2 \times X_x \\ &= +0,001 \times 1032 \times 2,75^2 \times 21 \\ &= 420,027 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= +0,001 \times q \times Lx^2 \times X_y \\ &= +0,001 \times 1032 \times 2,75^2 \times 21 \\ &= 420,027 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= -0,001 \times q \times Lx^2 \times X_x \\ &= -0,001 \times 1032 \times 2,75^2 \times 52 \\ &= 1040,068 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= -0,001 \times q \times Lx^2 \times X_y \\ &= -0,001 \times 1032 \times 2,75^2 \times 52 \\ &= 1040,068 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Karena pelat memiliki dua arah tulangan utama yang berbeda arah (x dan y) maka tinggi efektif dari pelat adalah:

- $dx = \text{tebal pelat } (h) - \text{Cover } (t) - 1/2 D \text{ tulangan}$
= 174 mm

- $dy = \text{tebal pelat } (h) - \text{Cover } (t) - D - 1/2 D \text{ tulangan}$
 $= 161 \text{ mm}$

Penulangan tumpuan

➤ Tumpuan Arah X

Faktor momen pemikul (dengan asumsi penampang terkendali tarik $\phi = 0,9$) sesuai dengan SNI 2847 2013 Ps. 9.3.2.1)

- $M_{tx} = 1040,068 \text{ kgm} = 10400680 \text{ Nmm}$
- $R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{Mu}{\phi bd^2} = \frac{10400680}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 1,28$
- $m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$
- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$
 $= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,28}{400}} \right)$
 $= 0,00328$
- $A_s = \rho \times b \times d = 0,00328 \times 1000 \times 174 = 570,72 \text{ mm}^2$

Kontrol kondisi penampang

- $\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$
 $= \frac{312 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000}$
 $= 4,38 \text{ mm}$
- Luas tulangan perlu (A_s)
 $A_s = \frac{0,85 \times f_c \times \alpha \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 30 \times 2,75 \times 1000}{400} = 195,937 \text{ mm}^2$

- Cek kondisi penampang awal sesuai SNI 2847 2013 Ps. 9.3

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,38}{0,85} = 5,15 \text{ mm}$$

$$0,515 \text{ dt} = 0,515 \times 174 = 89,61 \text{ mm}$$

$$C \leq 0,515 \text{ dt}$$

$$5,15 \text{ mm} \leq 89,61 \text{ mm}$$

OKE

- Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{S_{\text{perlu}}} \leq \frac{Mu}{\phi \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} \leq \frac{10400680}{0,9 \times 400 \times \left(174 - \frac{4,38}{2}\right)}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} \leq 168,15 \text{ mm}^2$$

- Cek syarat minimum tulangan sesuai dengan SNI 2847 2013 Ps 7.12.2.1

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{A_s}{bd} = \frac{168,15}{1000 \times 174} = 0,0096$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0018$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,0096 \times 1000 \times 174 = 1670,4 \text{ mm}^2$$

- Kontrol jarak spasi tulangan

Jarak tulangan utama

$$n_{\text{tul}} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tulangan}}}} = \frac{313,2}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 2,36 \text{ digunakan 3 buah}$$

Jarak tulangan per 1 meter pelat

$$S_{\text{tul}} = \frac{b}{n-1} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Ps. 13.3.2 yaitu,

$$S_{\text{max}} \leq 2 \times h \leq 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan $D13 - 200 \text{ mm}$

- Kontrol jarak tulangan terhadap retak

Spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh melebihi syarat pada *SNI-03-2847-2013 Ps.10.6.4*

$Cc = 20 \text{ mm}$ (jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik)

$$F_s = 2/3 \times f_y = 2/3 \times 240 = 160 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} S &= 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 Cc = 380 \left(\frac{280}{160} \right) - 2,5 \times 20 \\ &= 615 \text{ mm} > 125 \text{ mm} \quad (\text{OKE}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 300 (280/f_s) = 300 (280/160) \\ &= 525 \text{ mm} > 125 \text{ mm} \quad (\text{OKE}) \end{aligned}$$

- Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam *SNI-03-2847-2013 Ps.9.5.3.1* tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{\text{ijin}} = \frac{l}{360} = \frac{2750}{360} = 7,64 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} Q &= 1DL + 1LL \\ &= 604 + 192 \\ &= 796 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \\ &= 7,96 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$I = 1/12 b h^3 = 1/12 \times 1000 \times 200^3 = 1,67 \times 10^8$$

$$\begin{aligned} \delta^o &= \left(\frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left(\frac{5}{384} \times \frac{7,96 \times 2750^4}{25742,96 \times 1,67 \times 10^8} \right) \\ &= 1,37 \text{ mm} < \delta_{\text{ijin}} = 7,64 \text{ mm} \quad (\text{OKE}) \end{aligned}$$

- Cek kapasitas penampang

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{313,2 \times 240}{0,85 \times 30 \times 1000} = 2,94 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) \\
 &= 0,9 \times 313,2 \times 240 \times (174 - (0,5 \times 2,94)) \\
 &= 11671861,54 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_u < \phi Mn$$

$$10400680 \text{ Nmm} < 11671861,54 \text{ Nmm} \quad (\text{OKE})$$

- Perhitungan tulangan susut dan suhu (tulangan bagi)

$$\text{Didapatkan } \rho_{\text{susut}} = 0,0018 \text{ untuk } f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= 0,0018 \times b \times h \\
 &= 0,0018 \times 1000 \times 200 \\
 &= 360 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times 1000}{A_{s \text{ susut}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{360} = 218,2 \text{ mm}$$

$$S < 5h = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm}$$

$$S \leq 1000 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan susut $\phi 10 - 200 \text{ mm}$

Selanjutnya perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 17 Penulangan Pelat Lantai

Lokasi		Mu (Nmm)	As (mm ²)	Tulangan	ϕMn (Nmm)
a	b	c	d	e	g
Tump. x	Pokok	6991400	208	D13 – 200	10997078
	Susut		216	$\phi 10 - 200$	
Lap. x	Pokok	3284400	208	D13 – 200	10997078
	Susut		216	$\phi 10 - 200$	
Tump. y	Pokok	5349000	208	D13 – 200	10997078
	Susut		216	$\phi 10 - 200$	
Lap. y	Pokok	1595000	208	D13 – 200	10997078
	Susut		216	$\phi 10 - 200$	

4.8 Perencanaan Struktur Utama non Prategang

Struktur utama non prategang yang akan direncanakan meliputi :

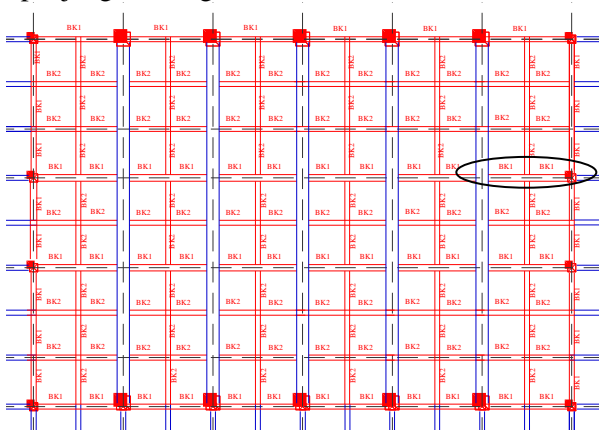
1. Balok Induk
2. Kolom
3. Hubungan Balok Kolom

Langkah perhitungan dan perencanaan struktur primer ini adalah dengan memodelkan ke dalam program SAP2000 dengan memasukkan beban-beban yang ada seperti beban hidup dan beban mati serta beban gempa (respon spektrum).

Hasil dari permodelan program SAP2000 akan didapatkan gaya dalam yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan tulangan struktur primer.

4.8.1 Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Pada contoh perhitungan balok induk ini akan direncanakan balok induk dimensi 50/70 cm pada lantai kolom renang di gedung yang memiliki panjang bentang 5.5 meter.



Gambar 4. 18 Letak Balok Induk BK1(As K ; 10-11) yang direncanakan

Data Perencanaan :

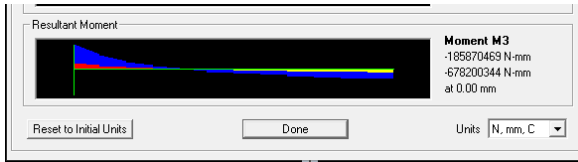
Dimensi balok (b/h)	: 50/70 cm
Panjang bentang (L)	: 5.5 meter
Mutu beton (f'_c)	: 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 MPa
Mutu baja sengkang (f_{yv})	: 400 Mpa
Diameter tulangan ($\emptyset l$)	: 19 mm
Diameter sengkang ($\emptyset v$)	: 10 mm (ulir)
Diameter torsi ($\emptyset t$)	: 13 mm
Tebal decking (c)	: 40 mm
Tinggi efektif (d)	: $700 - (40 + 10 + 19/2) = 640.5$ mm

Karena struktur gedung ini menggunakan sistem rangka gedung yang merupakan SRPM dan dinding struktur khusus (DSK), maka sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2013 pasal 21.5.1 yang perlu dipenuhi untuk komponen struktur pada sistem rangka yang memikul gaya akibat gempa dan direncanakan memikul lentur adalah :

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1 A_g f'_c$
 $80832,32 \text{ N} < 0,1 \times 500 \times 700 \times 30 = 1050000 \text{ N}$ (*memenuhi*)
2. Bentang bersih minimum $\geq 4d$
 $5.5 \text{ m} \geq 4 \times 0,636 = 2,544 \text{ m}$ (*memenuhi*)
3. Lebar balok tidak boleh kurang dari yang lebih kecil $0,3h$
 $0,3 \times 700 = 210 \text{ mm}$ dan 250 mm
 $500 \text{ mm} \geq 210 \text{ mm}$ (*memenuhi*)
4. Lebar balok tidak boleh melebihi lebar kolom ditambah dengan $0,75$ lebar kolom
 $500 \text{ mm} < 500 + (0,75 \times 500) = 875 \text{ mm}$ (*memenuhi*)

4.8.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Data output momen dari program bantu analisis struktur dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4. 19 Momen Envelope Balok Primer BK1 As K ; 10-11

Berikut adalah momen tumpuan balok pada muka kolom dan momen di tengah bentang :

- Momen tumpuan kiri : 678200344 Nmm
- Momen lapangan : 92776212,7 Nmm
- Momen tumpuan kanan : 260821663 Nmm

A. Desain Tulangan Lentur

Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$
 $= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$
 $= 640,5 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$
 $= 59,5 \text{ mm}$

Rasio Tulangan.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} = 0,0325 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0325 = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,68$$

Penulangan Tumpuan

Untuk mengantisipasi gaya gempa yang bekerja, maka penulangan ujung sebuah balok didesain, $M_u = 678200344 \text{ Nmm}$ (dari Output SAP 2000). Adapun langkah-langkah perencanaan tulangan rangkap sebagai berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{678200344 \text{ Nmm}}{0,9} = 753555938 \text{ Nmm}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 400} \times 640,5 = 384,30 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 X_b \\ &= 0,75 \times 384,30 = 288,225 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan $x = 120 \text{ mm}$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot x}{f_y} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 100}{400} = 3251,25 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right) \\ &= 3251,25 \times 400 \times \left(640,5 - \frac{0,85 \times 120}{2} \right) \\ &= 766644750 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{nc} > \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots \text{(tidak perlu tulangan rangkap)}$$

(Gunakan syarat tulangan tekan minimum)

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{753555938}{400 \times 640,5^2} = 3,67$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,69$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,67}{400}} \right) \\ &= 0,009951 \end{aligned}$$

$$\rho > \rho_{\min} = 0,0035 \rightarrow \text{Dipakai } \rho_{\text{perlu}} = 0,009951$$

Tulangan tumpuan atas :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,009951 \times 500 \times 640,5 = 3186,80 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **11D19** ($A_{spakai} = 3118,82 \text{ mm}^2$)

Tulangan tumpuan bawah :

Dipakai tulangan **5D19** ($A_{spakai} = 1417,64 \text{ mm}^2$)

Menurut SNI 2847-2013 ps 21.3.4(1) bahwa kuat momen positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen negatifnya pada muka tersebut. Hal ini untuk mengantisipasi perubahan arah gaya gempa yang bekerja.

Tulangan tumpuan bawah :

$$A_s' = 1559,41 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{pasang } \mathbf{5\ D\ 19} \text{ (} 1417,64 \text{ mm}^2 \text{)} \geq 0,33 A_{s \text{ aktual}}$$

Kontrol kekuatan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{3118,82 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} = 97,84 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 3118,82 \cdot 400 \left(640,5 - \frac{97,84}{2} \right)$$

$$= 738012614,2 \text{ Nmm} > 753555938 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Ok}$$

Kontrol Regangan Beton

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = 400 / 200000 = 0,002$$

$$\varepsilon_c' = \frac{a}{\beta_1 d - a} \times \varepsilon_y = \frac{97,84}{0,85 \times 640,5 - 97,84} \times 0,002$$

$$= 0,0004 < 0,003 \rightarrow \text{Oke, aman}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Menurut SNI 2847-2013 ps 21.3.4.2, jarak minimum yang disyaratkan antar dua batang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan akan diperoleh sebagai berikut :

$$bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}$$

$$S = \frac{\quad}{n - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19}{5 - 1} = 51,25 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

Penulangan Lapangan

Menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.4(1) menyatakan bahwa baik nilai momen positif maupun negatif sepanjang balok tidak boleh kurang dari 20% nilai momen maksimum pada kedua muka tumpuan.

Untuk output SAP2000 diperoleh nilai momen maksimum pada lapangan :

$$Mu = 92776212,7 \text{ Nmm} > 260821663 \times 20\% = 52164332,6 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{92776212,7}{0,9} = 103084680,78 \text{ Nmm}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 400} \times 640,5 = 384,3 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 0,75 X_b \\ = 0,75 \times 384,3 = 288,225 \text{ mm}$$

Direncanakan $x = 59,5 \text{ mm}$

$$Asc = \frac{0,85 \beta_1 f'_c b x}{f_y} = \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 120}{400} = 3251,25 \text{ mm}^2$$

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 x}{2} \right) \\ = 3251,25 \times 400 \times \left(640,5 - \frac{0,85 \times 120}{2} \right) = 766644750 \text{ Nmm}$$

$$Mnc > \frac{Mu}{\phi} \dots\dots\dots \text{ (tidak perlu tulangan rangkap)}$$

(Gunakan syarat tulangan tekan minimum)

$$R_n = \frac{M_n}{b.d^2} = \frac{103084680,8}{500 \times 640,5^2} = 0,5026 \text{ N/mm}^2$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,69} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,5026}{400}} \right) \\ = 0,0013$$

$\rho > \rho_{\min} = 0,0035 \rightarrow$ Dipakai $\rho_{\text{perlu}} = 0,0013$

Tulangan lapangan bawah:

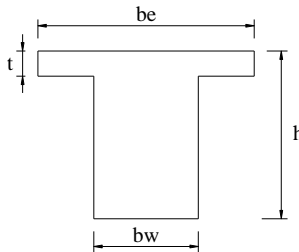
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0013 \times 500 \times 640,5 = 528,327 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **6D19** ($A_{\text{pakai}} = 1701,7226 \text{ mm}^2$)

Tulangan lapangan atas:

Dipakai tulangan **3D19** ($A_s'_{\text{pakai}} = 850,5862 \text{ mm}^2$)

Kontrol balok T



Gambar 4. 20 Penampang Balok T

$$\begin{aligned} b_e &= \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 5500 = 1375 \text{ mm} \\ &= b_w + 2 \cdot (8 \cdot t_f) = 500 + 2 \cdot (8 \cdot 120) = 2420 \text{ mm} \quad (\text{menentukan}) \\ &= \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (5500 - 500) = 2500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_s = 1701,17 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b_e} = \frac{1701,17 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1375} = 19,407 \text{ mm}$$

$$x = \frac{a}{\beta} = \frac{19,407}{0,85} = 22,83 \text{ mm} < 120 \text{ mm} \Rightarrow x \leq t ; \text{ dipakai}$$

balok *T palsu*, sehingga perhitungan dilakukan dengan balok biasa

Kontrol kekuatan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{1701,17 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1375} = 19,407 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 1701,17 \cdot 400 \left(640,5 - \frac{19,407}{2} \right) \\ &= 429236832,76 \text{ Nmm} > 103084680,78 \text{ Nmm} \rightarrow \text{Ok} \end{aligned}$$

Kontrol Spasi Tulangan

Menurut SNI 2847-2013 ps 21.3.4.2, jarak minimum yang disyaratkan antar dua batang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan akan diperoleh sebagai berikut :

$$S = \frac{bw - 2.decking - 2.Øsengkang - n.Øtulutama}{n - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 19}{6 - 1} = 57,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$$

Desain Penulangan Geser

Menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.3.1 bahwa gaya geser rencana V_u harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat lentur maksimum, M_n harus dianggap bekerja pada muka tumpuan dan komponen tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

Syarat spasi maksimum tulangan geser tumpuan balok menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.4(2) :

$$s < d/4 = 640,5/4 = 160 \text{ mm} \text{ (menentukan)}$$

$$s < 6Ø \text{ tulangan memanjang} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$s < 150 \text{ mm}$$

Sengkang pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Pada daerah lapangan syarat maksimum tulangan geser balok menurut SNI-2847-2013 pasal 21.3.4(2) :

$$s < d/2 = 640,5/2 = 320,25 \text{ mm} \text{ (menentukan)}$$

Nilai Gaya Geser pada Balok

Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan akibat beban gravitasi terfaktor.

$$V_{ul} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan beban gempa, dengan beban gempa yang diasumsikan dua kali lebih besar

$V_{u2} = V_{ue} \rightarrow V_{ue}$ = Gaya geser kombinasi beban terbesar termasuk gempa

Momen tumpuan positif

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{3118,82 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} = 97,845 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr+} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 3118,82 \times 400 \left(640,5 - \frac{97,845}{2} \right) \\ &= 922510553 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen tumpuan negatif

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{1417,64 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 44,475 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nr} &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1417,64 \times 400 \left(640,5 - \frac{44,475}{2} \right) \\ &= 438237930 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya geser total pada muka tumpuan (muka kolom s/d 2h) :

$V_u = 555781 \text{ N}$ (Output SAP2000 Comb 1,2D+1L)

$$L_n = 5,5 - ((0,5 \times 0) + (0,5 \times 0,5)) = 5,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{u,l} &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{l_n} + V_u \\ &= \frac{438237930 + 922510553}{5250} + 555781 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 814971,19N \\
 V_{ue} &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{l_n} \\
 &= \frac{438237930 + 922510553}{5250} \\
 &= 259190N \\
 V_{ue} &= V_{u,2} \\
 V_{ue} &= 814971,19N \quad (\text{menentukan})
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser Tumpuan Balok

- $V_u = 814971,19N$
- Nilai $V_{ue} = 259190 < 50\% V_{u,\text{maksimum}} = 277890 N$,
Jika $V_{ue} < 50\% V_u$ maka $V_c = 50\% V_u$ maksimum
maka nilai $V_c \neq 0$
- Nilai V_c (Kuat geser yang disumbangkan oleh beton) :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0 N \\
 \phi &= 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})
 \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{814971,19}{0,75} = 1086628,2N$$

Syarat V_s tidak boleh melebihi $0.66 \times 0.5 \times f'_c \times b_w \times d$, maka
 $V_s < 1157693,78 N \rightarrow \text{OK, Penampang Cukup}$

• Menentukan $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} \quad (\text{SNI 2847-2013 ps 11.4.7.2})$$

$$\frac{157,080}{s} = \frac{1086628,2}{400 \times 640,5} = 37,0355mm$$

Syarat spasi tulangan lentur tidak boleh melebihi dari nilai yang terkecil dari $s = d/2 = 640,5 / 2 = 320 \text{ mm}$

Sehingga digunakan tulangan geser D10 – 100 mm

- Perhitungan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_w \times h \quad A_{cp} \\
 &= 500 \times 700 = 350000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$P_{cp} = 2 \times (b_w + h)$$

$$= 2 \times (500 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) = 2400 \text{ mm}$$

Dari program SAP 2000 didapat nilai torsi yang terjadi yaitu,

$$T_u = 113502678 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir / torsi dapat diabaikan apabila momen puntir yang terjadi tidak melebihi persamaan dibawah ini (SNI 2847-2013 pasal 11.5.2.2) :

$$T_u = \frac{\phi \times \sqrt{f'c'}}{12} \times \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}} \right)$$

$$= \frac{0,75 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}}}{12} \times \left(\frac{(350000 \text{ mm}^2)^2}{2400 \text{ mm}} \right) = 17472920,13 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$113502678 \text{ Nmm} > 17472920,13 \text{ Nmm} \text{ (Perlu Torsi)}$$

Kontrol Kuat Lentur Puntir

$$T_u = T_u - T_{u.\min}$$

$$= 113502678 - 17472920,13 = 96029757,87 \text{ Nmm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{0,75} = \frac{96029757,9}{0,75} = 128039677,2 \text{ N}$$

$$b_1 = b - 2x \left(dc + \frac{1}{2} \phi \right) = 500 - 2x \left(40 + \frac{1}{2} 10 \right) = 410 \text{ mm}$$

$$h_1 = h - 2x \left(dc + \frac{1}{2} \phi \right) = 700 - 2x \left(40 + \frac{1}{2} 10 \right) = 610 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = b_1 \times h_1 = 410 \times 610 = 250100 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (b_1 + h_1) = 2 \times (410 + 610) = 2040 \text{ mm}^2$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bxd} \right)^2 + \left(\frac{T_{ux} P_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{bxd} \right) + \left(\frac{2 \sqrt{f'c}}{3} \right)$$

$$2.530984 \text{ N} \leq 3.423266 \text{ N} \text{ (Cukup)}$$

Kontrol Kuat Lentur Geser

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y \cdot \cot \phi}{s}$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 250100 = 212585 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot \phi} = \frac{1280396772}{2 \cdot 212585 \cdot 400 \cdot \cot 45} = 0,75287$$

Tulangan Puntir Untuk Lentur

$$A_{l_{\text{perlu}}} = \frac{A_t}{s} \cdot P h x \frac{f_{yv}}{f_y} \cdot x \cot \phi$$

$$= 0,75287 \times 2040 \times \frac{400}{400} \times \cot 45 = 2165,7334 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} > 0,175 \times \frac{b_w}{f_y}$$

0,75287 > 0,219 → maka digunakan nilai $A_t/s = 0,7529$

$$A_{l_{\text{min}}} = \frac{5x\sqrt{f'_c}xAc_p}{12xf_y} - \left(\frac{A_t}{s} \cdot P h x \frac{f_{yv}}{f_y} \right)$$

$$= \frac{5 \times 5,5 \times 350000}{12 \times 400} - \left(0,7529 \times 2040 \times \frac{400}{400} \right) = 461,0434 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan tulangan puntir = 2165,7338 mm²

Penyebaran Tulangan Puntir

Tulangan disebar merata di sekeliling penampang = $A_l/4$
 = 541,43 mm²

Penyebaran Tulangan Puntir

$$1 \times A_l/4 = 1 \times 541,43 = 541,43 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan **5 D13**

$$A_{S_{\text{pakai}}} = n \times A_s = 5 \times 0,25 \times \pi \times 13^2$$

$$= 663,66145 > 541,433 \rightarrow \text{Cukup}$$

Penulangan Geser Lapangan Balok

Pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis (>2h)

$$V_{u,2h} = 62281,9 \text{ N (Output SAP2000)}$$

Momen lapangan positif

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{1701,17 \times 400}{0,9 \times 30 \times 500} = 53,3701 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr+} &= A_s \cdot 1,25 f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1701,172 \times 500 \left(640,5 - \frac{53,3701}{2} \right) \\
 &= 522102526 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lapangan negatif

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} = \frac{850,586 \times 400}{0,9 \times 30 \times 500} = 26,685 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-} &= A_s \cdot 1,25 f_y \cdot \left(d_{\text{aktual}} - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 851 \times 500 \left(640,5 - \frac{26,685}{2} \right) \\
 &= 266725749 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$L_n = 5,5 - ((0,5 \times 0) + (0,5 \times 0,5)) = 5,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u,1} &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{266725749 + 522102526}{5250} + 622819 = 212534,90 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ue} &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{l_n} \\
 &= \frac{266725749 + 522102526}{5250} = 150253 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{ue} = V_{u,2}$$

$$V_{u,2} = 150253 \text{ N} \quad (\text{menentukan})$$

$$V_u = 150253 \text{ N}$$

Nilai $V_{ue} = 150253 < 50\% V_u \text{ maksimum} = 31140,95 \text{ N}$,

Jika $V_{ue} < 50\% V_u$ maka $V_c = 50\% V_u \text{ maksimum}$
maka nilai $V_c \neq 0$

Nilai V_c (Kuat geser yang disumbangkan oleh beton) :

$$V_c = 0 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{150253,9}{0,75} = 283379,87 \text{ N}$$

Syarat V_s tidak boleh melebihi $0.66 \times 0.5 \times f'_c \times b_w \times d$, maka $V_s < 1157693,78 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$, Penampang Cukup

- Menentukan $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} \quad (\text{SNI 2847-2013 ps 11.4.7.2})$$

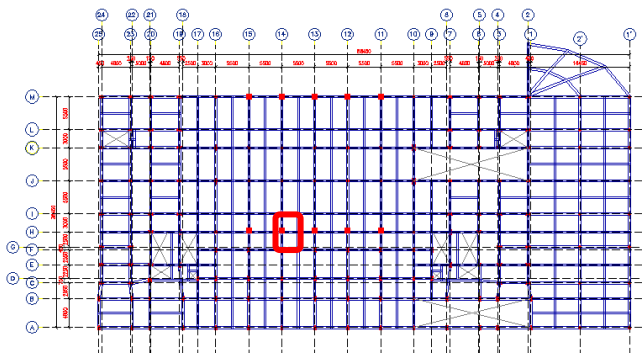
$$\frac{157,080}{s} = \frac{283379,873}{400 \times 640,5} = 142,0136 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan lentur tidak boleh melebihi dari nilai yang terkecil dari $s = d/2 = 640,5 / 2 = 320 \text{ mm}$

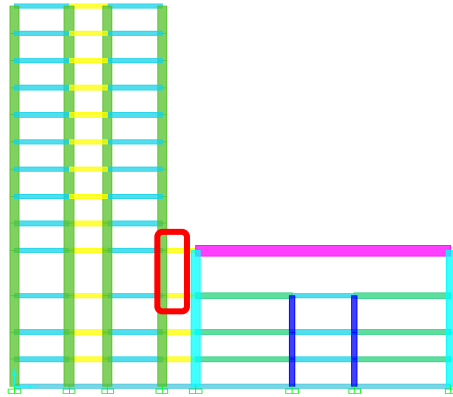
Sehingga digunakan tulangan geser **D10 – 200 mm**

4.9 Desain Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang memikul beban-beban yang diterima struktur sekunder dan balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Dalam contoh perhitungan kolom berikut ini akan direncanakan kolom dengan dimensi 85/140 mm.



Gambar 4. 21 Denah Posisi Kolom K3 (85/140) pada As H-15



Gambar 4. 22 Posisi Kolom K3 (85/140) pada As H-15

4.9.1 Data Perencanaan

Data-data perencanaan tulangan kolom :

Tipe kolom	: K3
As kolom	: As H- 15
Tinggi kolom	: 5000 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 35 MPa
Kuat leleh tul. lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tul. geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tul. puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tul. lentur (\emptyset lentur)	: 22
Diameter tul. geser (\emptyset geser)	: 13
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
	(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)
Faktor β_1	: 0,836
	(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,65
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 (b))
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Dari hasil permodelan *SAP2000* didapatkan momen envelope dari beberapa kombinasi pada kolom yang ditinjau adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 18 Momen Envelope Kolom

Lokasi	Gaya dalam		
	P (kN)	M 2-2 (kNm)	M 3-3 (kNm)
kolom atas	0	0	0
kolom ditinjau	2020.769	-6883.1102	-680.4356
kolom bawah	2795.27	-725.6897	-298.6232

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.1, syarat dimensi kolom harus dipenuhi bila :

- Menerima beban aksial terfaktor lebih besar dari $Agxf'c/10$

$$P_u > \frac{Agxf'c}{10}$$

$$P_u > \frac{1190000 \times 35}{10}$$

$$P_u > 4165000 \text{ N} \quad \rightarrow \text{OK}$$

- Ukuran penampang terkecil harus lebih besar dari 300 mm.

$$850 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{OK}$$

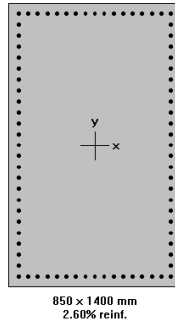
- Rasio b/h harus lebih besar dari 0,4.

$$\frac{b}{h} = \frac{850}{1400} = 0,6 > 0,4 \quad \rightarrow \text{OK}$$

Penulangan Lentur

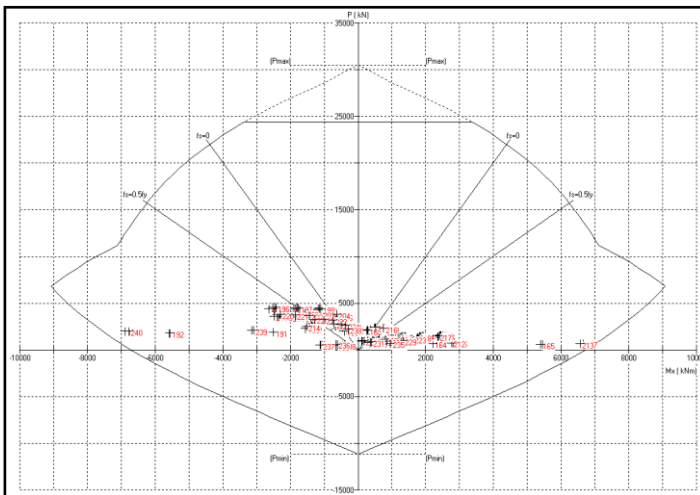
Untuk desain penulangan lentur kolom akan digunakan program bantu *SpColumn*, dengan memasukkan gaya dalam berfaktor dan direncanakan diameter dan jumlah tulangan yang akan digunakan.

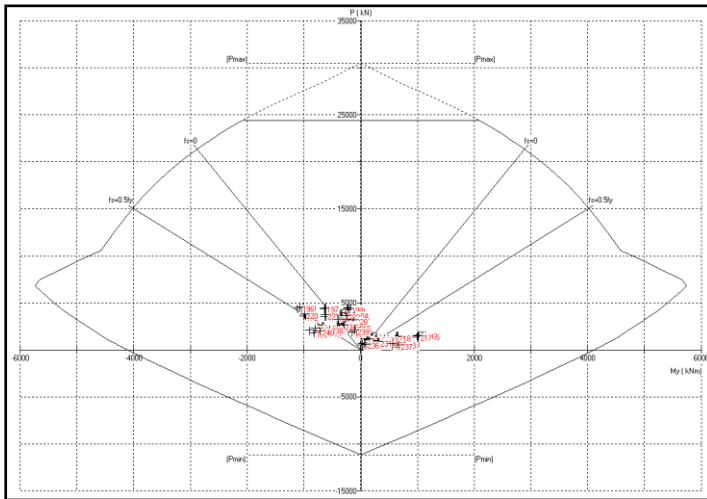
Dari *trial and error* dengan *SpColumn* didapatkan konfigurasi tulangan 80D22, seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 4. 23 Penampang Kolom As H-15

Hasil output dari program *SpColumn* berupa diagram interaksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.56.





Gambar 4. 24 P-M Diagram Interaksi Kolom As H-15

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.3.1, batasan rasio tulangan komponen tekan diijinkan antara 1% - 6%. Dari diagram interaksi diperoleh rasio luas tulangan lentur 80D22 sebesar 2,60% ($A_{st} = 30960 \text{ mm}^2$). Penampang juga telah mampu memikul kombinasi beban pada kedua sumbunya dengan koordinat seperti yang diperlihatkan padagambar 4.56.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisis struktur.

$$\begin{aligned}
 \phi P_{n_{maks}} &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\
 &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (1190000 - 30960) + 400 \times \\
 &\quad 30960] \\
 &= 24370029 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_{n_{maks}} > P_u$$

$$24370029 \text{ N} > 2795269,72 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

Kontrol Strong Column Weak Beam

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persyaratan :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi yang nilainya sebagai berikut :

$$M_{nc_{atas}} = 7420 \text{ kNm}$$

$$M_{nc_{bawah}} = 6432 \text{ kNm}$$

Nilai M_{pr} diambil dari momen kapasitas balok yang menyatu dengan kolom yang ditinjau sebesar :

(Mpr1):

As balok : 14 D19 (3969,40 mm²)

$$a = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 3969,40 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} = 155,66 \text{ mm}$$

$$d = 700 - (40 + 13 + 19) = 628 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr1} &= 1,25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 3969,40 \times 400 \times \left(628 - \frac{155,66}{2} \right) \\ &= 1091920222 \text{ N.mm} = 1091,92 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

(Mpr2):

As balok : 7 D19 (1984,7 mm²)

$$a = \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{1,25 \times 1984,7 \times 400}{0,85 \times 30 \times 500} = 77,83 \text{ mm}$$

$$d = 700 - (40 + 13 + 19) = 628 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr2} &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1984,7 \cdot 400 \cdot \left(628 - \frac{77,83}{2} \right) \\
 &= 584578499,8 \text{ N.mm} = 584,58 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Sehingga persyaratan strong column weak beam dapat dibuktikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nc} &\geq 1,2 \Sigma M_{nb} \\
 (7420 + 6432) &\geq 1,2 (1091,92 + 584,58) \\
 13852 \text{ kNm} &\geq 2011,8 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.5.1, gaya geser rencana (V_e) harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka joint.

Dari hasil program *SpColumn* didapatkan momen nominal kolom. Seperti yang ditunjukkan pada gambar.

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:					
No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	fMnx kNm	fMny kNm
1	0.00	0.00	0.00	6707.15	0.00
2	2020.77	-6883.11	-680.44	-7337.14	-725.32
3	2795.27	-725.69	-298.62	-5937.63	-2443.35

Gambar 4.48. Gambar Momen Nominal Kolom

Karena dimensi dan penulangan kolom atas dan bawah sama maka gaya geser di ujung kolom akibat momen lentur adalah :

$$V_e = \frac{M_n}{h_n} = \frac{6707,15}{4,25} = 1578,15 \text{ kN}$$

Gaya geser yang bekerja di sepanjang kolom (V_u) ditentukan dari M_{pr+} dan M_{pr-} balok yang menyatu dengan kolom tersebut. Pada perhitungan sebelumnya didapatkan :

$$\begin{aligned} M_{pr_1} &= 1091,92 \text{ kNm} \\ M_{pr_2} &= 584,58 \text{ kNm} \\ V_u &= \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{h_n} \\ &= \frac{1091,92 + 584,58}{4,25} \\ &= 394,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &< V_e \\ 394,47 \text{ kN} &< 1578,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka digunakan nilai V_e sebesar 1578,15 kN sebagai gaya geser rencana.

Daerah Sendi Plastis (Tumpuan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.5.2, tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap $V_c = 0$, apabila :

$$\begin{aligned} P_u &< \frac{A_g x f'_c}{10} \\ 4586502,78 \text{ N} &< 4165000 \text{ N} \rightarrow V_c \text{ dihitung} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.2.1.2, kuat geser beton yang terbebani tekan aksial ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} x b x d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{4586502,78}{14 \times 1190000} \right) \sqrt{35} \times 850 \times 1325 \\ &= 1361,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_e}{0,75} - V_c = \frac{1578,15}{0,75} - 1361,17 = 743,03 \text{ kN}$$

Jadi kontrol untuk gaya geser nominal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_n &= V_s + V_c \\ &= 743,03 + 1361,17 = 2104,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek,

$$\begin{aligned} V_e &\leq \phi V_n \\ 1578,15 \text{ kN} &\leq 0,75 \times 2104,2 \text{ kN} \\ 1578,15 \text{ kN} &\leq 1578,15 \text{ kN} \end{aligned} \quad \rightarrow (\text{OKE})$$

Direncanakan menggunakan sengkang 4 kaki, maka :

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2 \\ s &= \frac{A_v f_y x d}{V_s} = \frac{530,93 \times 400 \times 1325}{743028,639} = 378,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.3, spasi sengkang sepanjang panjang l_o tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari berikut :

$$\begin{aligned} s &< b/4 = 850/4 = 212,5 \text{ mm} \\ s &< 6db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} &< s < 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sementara untuk sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s/2 = 75 \text{ mm}$ dari muka komponen struktur penumpu.

Sehingga dipasang sengkang Ø13 – 125 mm sepanjang l_o dari muka kolom, tulangan geser pertama dipasang 75 mm dari muka kolom.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.1, panjang l_o atau daerah sendi plastis yang diukur dari muka joint tidak boleh kurang dari yang terbesar dari berikut :

$$\begin{aligned} l_o &> \text{dimensi penampang maksimum kolom} = 1400 \text{ mm} \\ l_o &> l_n/6 = 4250/6 = 708,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$l_o > 450 \text{ mm}$

Maka digunakan panjang $l_o = 1400 \text{ mm}$

Daerah Di Luar Sendi Plastis (Lapangan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 7.10.5.2 dan Pasal 11.4.5.1, spasi sengkang pada daerah lapangan tidak boleh melebihi :

$$s < 16db = 16 \times 22 = 352 \text{ mm}$$

$$s < 48ds = 624 \text{ mm}$$

$$s < \text{dimensi penampang minimum} = 1400 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang sengkang Ø13 – 200mm pada daerah lapangan.

Perhitungan Penulangan *Confinement*

Total luas penampang sengkang tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$A_{sh} > 0,3 \frac{sbcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ dan } 0,09 \frac{sbcfc'}{f_{yt}}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sbcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{bcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{\left[(850 - 2 \left(40 + \frac{13}{2} \right)) (35) \right]}{400} \left[\left(\frac{1400 \times 850}{(850 - 80)^2} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0603 \text{ mm/mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sbcfc'}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{bcfc'}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{\left[(850 - 2 \left(40 + \frac{13}{2} \right)) \right]}{400} \quad (35)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 5,9613 \text{ mm/mm}^2$$

Maka A_{sh}/s yang digunakan adalah $5,9613 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Bila dipakai spasi : $s = 125 \text{ mm}$, maka luas penampang sengkang diperlukan :

$$A_{sh} = 5,9613 \frac{\text{mm}}{\text{mm}^2} \times 125 \text{ mm} = 745,16 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan :

$$A_{v \text{ pasang}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) n \text{ kaki} \times s$$

$$A_{v \text{ pasang}} = \left(\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 \right) 4 \times 125$$

$$A_{v \text{ pasang}} = 663,66 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan geser $\emptyset 13$ -125 mm dengan sengkang 4 kaki di daerah sepanjang l_o .

4.10 Perencanaan Struktur Utama Prategang

4.10.1. Umum

Beton prategang merupakan komponen struktur yang menggabungkan kekuatan baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi. Beton prategang memiliki keunggulan berupa pemanfaatan penampang optimal dengan kemampuan memikul beban yang sama, penampang beton prategang memiliki dimensi lebih kecil daripada penampang beton bertulang biasa, sehingga akan sangat mempengaruhi berat struktur tersebut. Pengurangan berat struktur

berpengaruh pada kekuatan struktur tersebut dalam memikul beban-beban yang terjadi.

Perencanaan beton prategang pada Gedung Apartemen 13 Lantai di Surabaya ini direncanakan dengan metode pasca tarik (*post tension*). Metode pasca tarik adalah metode prategang dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon prategang diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya prategang diberikan. Perencanaan beton prategang dilakukan pada lantai kolam dengan jumlah balok prategang yang didesain adalah 5 buah dan panjang bentang bersihnya adalah 22,50 meter. Sebelum dilakukan perhitungan perencanaan balok prategang, maka akan ditentukan terlebih dahulu spesifikasi mutu bahan, tahap pembebanan, jenis tendon yang digunakan, tegangan ijin komponen struktur, kehilangan prategang, serta kontrol struktur yang meliputi kontrol batas layan (*servisability*), dan penggambaran sebagai output.

4.10.2. Data Perencanaan Beton Prategang

Berikut ini adalah data-data perencanaan beton prategang pada lantai 5, beton prategang diklasifikasikan sebagai kelas U :

Panjang bentang = 22,50 meter

Dimensi balok prategang = 75/120 cm

$f_c = 40 \text{ MPa}$

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton saat belum keras, diambil waktu curing 14 hari, sehingga nilai f_{ci} dihitung dengan cara sebagai berikut (acuan koefisien berdasarkan PBI) :

$f_{ci} = 0,88 \times 40 = 35,2 \text{ MPa}$

Tebal pelat lantai (t_f) = 20 cm

Jarak antar balok prategang (s) = 8 m

Jarak serat terluar tarik dengan titik berat tendon (d') = 20 cm

4.10.3. Penentuan Tegangan Ijin Beton Kelas U

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- a. Segera setelah peralihan gaya prategang (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.1 :
- Tegangan tekan : $\sigma_{tk} = 0,60 f_{ci}$
 $\sigma_{tk} = 0,60 \times f_{ci} = 0,60 \times 35,2 = 21,12 \text{ MPa}$
 - Tegangan tarik : $\sigma_{tr} = 0,25 \sqrt{f_{ci}}$
 $\sigma_{tr} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{35,2} = 1,48 \text{ MPa}$
- b. Segera setelah setelah terjadi kehilangan gaya prategang (saat beban bekerja), tegangan serat-serat terluar sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 :
- Tegangan tekan : $\sigma_{tk} = 0,45 f_c$
 $\sigma_{tk} = 0,45 \times f_c = 0,45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$
 - Tegangan tarik : $\sigma_{tr} = 0,62 \sqrt{f_c}$
 $\sigma_{tr} = 0,62 \times \sqrt{f_c} = 0,62 \times \sqrt{40} = 3,92 \text{ MPa}$

4.10.4. Dimensi Penampang Balok Prategang Sebelum Komposit

$$y_{top} = 1/2 \times h = 1/2 \times 120 = 60 \text{ cm}$$

$$y_{bot} = 1/2 \times h = 1/2 \times 120 = 60 \text{ cm}$$

$$I_{balok} = 1/12 \times bw \times h^3 = 1/12 \times 75 \times 120^3$$

$$= 10800000 \text{ cm}^4$$

$$W_{top} = \frac{I_{balok}}{Y_{top}} = \frac{10800000}{60}$$

$$= 180000 \text{ cm}^3$$

$$W_{bot} = \frac{I_{balok}}{Y_{top}} = \frac{10800000}{60}$$

$$= 180000 \text{ cm}^3$$

$$A_{balok} = b \times h = 75 \times 120 = 9000 \text{ cm}^2$$

Setelah Komposit

Menentukan lebar efektif sayap balok :

Dalam mencari lebar efektif (b_w), maka digunakan beberapa perumusan yang terdapat di dalam SNI 2847-2013 pasal 8.12, dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi

seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap dari masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi :

- delapan kali tebal pelat
- setengah jarak bersih antara balok-balok yang bersebelahan

Perhitungan lebar efektif ialah sebagai berikut :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_x = \frac{1}{4} \times 22500 = 5625 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + 2(8t) = 750 + 2(8 \times 200) = 3950 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = b_w + \frac{1}{2}(s) = 750 + \frac{1}{2} \times (5500) = 4100 \text{ mm}$$

Sehingga nilai b_{eff} yang terkecil ialah 3,95 meter. Sesuai dengan persyaratan pertama dimana lebar efektif sayap balok T tidak boleh melebihi seperempat bentang balok, atau sepanjang 5,625 m. Penggunaan lebar efektif di dalam perhitungan beton prategang hanya digunakan pada saat analisis tegangan yang terjadi pada beton prategang sendiri, sementara untuk perhitungan beban yang ada lebar yang digunakan ialah selebar 4,1 m, sesuai dengan jarak antar balok prategang yang sebenarnya.

Penampang balok prategang menjadi penampang balok-T, karena ada pelat lantai. Mutu bahan antara pelat dan balok prategang berbeda, sehingga perlu disamakan terlebih dahulu lebar efektifnya. Perhitungan dapat menggunakan sebagai berikut,

$$E_{pelat} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$E_{balok} = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{40} = 29725,41 \text{ MPa}$$

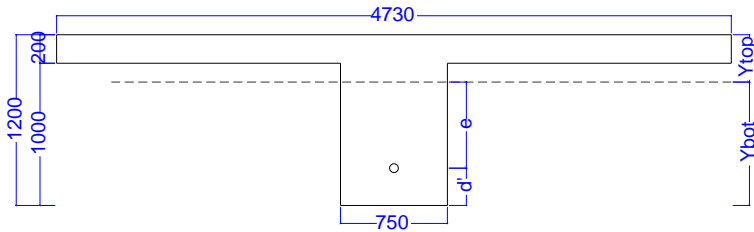
Dalam perhitungan tegangan, maka kita perlu menganalisa lebar efektif balok yang baru karena nilai mutu pelat dan beton prategang berbeda. Perumusan yang digunakan untuk perhitungan lebar efektif ialah dengan membandingkan modulus elastisitas pelat dan balok, lalu dikalikan dengan lebar efektif yang ada, sebesar 4,1 meter.

$$b_{eff} = \frac{E_{balok}}{E_{pelat}} \times s$$

$$= \frac{29725,41}{25742,96} \times 4,1$$

$$= 4,73 \text{ m} = 4730 \text{ mm}$$

Dimensi penampang balok komposit



Gambar 4. 25 Penampang komposit balok prategang

$$A_{pelat} = 473 \times 20 = 9460 \text{ cm}^2$$

$$A_{balok} = 75 \times 100 = 7500 \text{ cm}^2$$

$$A_{total} = 9460 + 7500 = 16960 \text{ cm}^2$$

$$y_t = \frac{[(7500 \times 70) + (9460 \times 10)]}{16960} = 36,54 \text{ cm}$$

$$y_b = 120 - 36,54 = 83,46 \text{ cm}$$

$$d_t = 36,54 - \frac{20}{2} = 26,54 \text{ cm}$$

$$d_b = 83,46 - \frac{75}{2} = 33,46 \text{ cm}$$

$$I_c = \left(\frac{1}{12} 75 \times 100^3 \right) + (7500 \times 33,46^2) + \left(\frac{1}{12} 473 \times 20^3 \right) + (9460 \times 26,54^2)$$

$$= 21313295,67 \text{ cm}^4$$

$$W_t = \frac{I_c}{y_t} = \frac{21313295,67}{36,54} = 583286,69 \text{ cm}^3$$

$$W_b = \frac{I_c}{y_b} = \frac{21313295,67}{83,46} = 255371,38 \text{ cm}^3$$

$$K_t = \frac{W_b}{A_{total}} = \frac{255371,38}{16960} = 15,6 \text{ cm}$$

$$K_b = \frac{W_t}{A_{total}} = \frac{583286,69}{16960} = 34,39 \text{ cm}$$

4.10.5. Beban Balok Prategang

Dilakukan perhitungan beban merata yang terjadi pada balok prategang yaitu :

Beban mati :

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat } qd &= \gamma_{\text{beton}} \times be_{\text{pelat}} \times tp_{\text{pelat}} \\ &= 2400 \times 5,5 \times 0,2 \\ &= 2640 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok } qd &= \gamma_{\text{beton}} \times b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 2400 \times 0,75 \times 1 \\ &= 1800 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Berat tambahan (dari beban lantai per meter)

$$qd = 825 \text{ kg/m}$$

Beban hidup :

$$ql = 1200 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} ql &= ql \times be_{\text{pelat}} \\ &= 1200 \times 5,5 \\ &= 6600 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Setelah didapat beban merata kemudian dihitung momen yang terjadi pada tengah bentang balok prategang dengan panjang bentang (l) adalah 22,50 meter. Perhitungan momen seperti pada tabel 4.19

Tabel 4. 19 Perhitungan Momen

Jenis beban	Beban terbagi rata (Kg/m)	Momen tengah bentang (Kgm) $1/8 \times q \times l^2$
pelat	2640.00	167062.50
balok pratekan	1800.00	113906.25
beban mati tambahan	825.00	52207.03
hidup	6600.00	417656.25

4.10.6. Analisa Gaya Prategang

Preliminary gaya prategang dilakukan dengan merencanakan tendon tunggal sepanjang balok dan merencanakan eksentrisitas untuk kemudian menghasilkan nilai gaya prategang (F).

Analisa dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi sesaat setelah penyaluran gaya prategang dan kondisi beban layan. Kedua kondisi tersebut dilakukan dengan asumsi bahwa struktur balok adalah *simple beam*. Kemudian nilai F didapatkan dari kondisi batas berupa tegangan ijin beton yang telah dihitung sebelumnya.

Nilai e rencana sebesar :

$$e = Y_{\text{botom}} - d' = 83,46 - 10 = 73,46 \text{ cm}$$

1. Gaya prategang sesaat setelah penyaluran (sebelum komposit).
Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok sehingga momen yang digunakan adalah momen balok, M_{balok} .

a. Serat atas

$$\sigma_t \leq \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_t} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_t}$$

$$-1,48 \leq \frac{F_o}{900000} - \frac{F_o \times 734,6}{180000000} + \frac{1139062500}{180000000}$$

$$F_o = 2628998,316 \text{ N}$$

b. Serat bawah

$$\sigma_b \geq \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_{balok}}{W_t}$$

$$21,12 \geq \frac{F_o}{900000} + \frac{F_o \times 734,6}{180000000} - \frac{1139062500}{180000000}$$

$$F_o = 5286392,574 \text{ N}$$

Kontrol gaya F_o pada kondisi sesaat setelah penyaluran

$$F_o = 2628998,316 \text{ N}$$

$$\sigma_t : -1,48 \leq -1,48 \text{ MPa} \quad (\text{ok})$$

$$\sigma_b : 21,12 \geq 7,32 \text{ MPa} \quad (\text{ok})$$

$$F_o = 5286392,574 \text{ N}$$

$$\sigma_t : -1,48 \leq -9,372 \text{ MPa} \quad (\text{ok})$$

$$\sigma_b : 21,12 \geq 21,12 \text{ MPa} \quad (\text{ok})$$

2. Gaya prategang saat beban layan (setelah komposit)

Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok, pelat, beban mati tambahan serta beban hidup. Sehingga momen yang digunakan adalah momen total dari semua beban, M_{total}

a. Serat atas

$$\sigma_t \geq \frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e}{W_t} + \frac{M_{balok}}{W_t}$$

$$18 \geq \frac{F_o}{1696000} - \frac{F_o \times 734,6}{583386690} + \frac{7508320313}{583386690}$$

$$F_o = 7661217,535 \text{ N}$$

b. Serat bawah

$$\sigma_b \leq \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e}{W_t} - \frac{M_{balok}}{W_t}$$

$$-3,92 \leq \frac{F_o}{1696000} + \frac{F_o \times 734,6}{583386690} - \frac{7508320313}{583386690}$$

$$F_o = 4841044,86 \text{ N}$$

Kontrol gaya F_o pada kondisi saat beban layan

$$F_o = 7661217,535 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_t : 18 &\geq 18 \text{ MPa} && (\text{ok}) \\
 \sigma_b : -3,92 &\leq -27,03 \text{ MPa} && (\text{tidak ok}) \\
 F_o &= 4841044,86 \text{ N} \\
 \sigma_t : 18 &\geq 9,63 \text{ MPa} && (\text{ok}) \\
 \sigma_b : -3,92 &\leq -3,92 \text{ MPa} && (\text{ok})
 \end{aligned}$$

Sehingga dari dua kondisi di atas diperoleh gaya prategang sebesar 4841044,86 N.

4.10.7. Penentuan Strand dan Tendon yang Digunakan

Dari gaya prategang yang telah ditentukan sesuai dengan tegangan ijin maka penentuan jumlah kabel *strand* dan tendon dapat dilakukan. Penggunaan kabel strand untuk sistem prategang diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 18.5 tentang tegangan ijin untuk baja prategang dimana tegangan tarik pada saat penarikan (*jacking*) tidak boleh melebihi 0,94 *fpy* atau 0,80 *fpu* serta untuk baja prategang pasca tarik pada saat setelah transfer gaya tidak boleh melebihi 0,70 *fpu*.

Data kabel strand yang direncanakan sebagai baja prategang diperoleh dari tabel *fressynet* (tabel terlampir) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Standard	Nominal tensile strength N/mm ²	Nominal diameter mm	Nominal steel area mm ²	Nominal mass kg/m	Minimum breaking strength kN	Proof stress at 0.1 % kN
pr EN 10138-3	1 770	16	150	1 170	265	228
	1 860	16	150	1 170	279	240
BS	1 770	15.7	150	1 180	265	225
	1 860	15.8	145	1 205	300	265
ASTM A 416-96a	1 860	15.24	140	1 102	260.7	234.6
	(270 kpsi)	(0.6 in)	(0.217 in ²)	(0.74 lb/ft)	(58 600 lbf)	(52 740 lbf)

Tipe strand : ASTM A 416-96a Grade 270
 Diameter : 15,24 mm
 Luas penampang : 140 mm²
 Kuat tarik f_{pu} : 1860 MPa

Kuat leleh f_{py} : 1675 MPa

Tegangan ijin baja prategang :

$$0,94 f_{py} = 0,94 \times 1675 = 1574,5 \text{ MPa}$$

$$0,80 f_{pu} = 0,80 \times 1860 = 1488 \text{ MPa}$$

$$0,70 f_{pu} = 0,70 \times 1860 = 1302 \text{ MPa}$$

Diambil nilai tegangan ijin terkecil yaitu 1302 MPa.

Dengan nilai tegangan ijin baja prategang serta gaya prategang yang didapat, selanjutnya dapat ditentukan jumlah kabel *strand* yang dibutuhkan. Luas total *strand* yang dibutuhkan,

$$A_{ps} = \frac{4841044,86}{1302}$$

$$= 3718,16 \text{ mm}^2$$

sehingga jumlah *strand* yang dibutuhkan,

$$n = \frac{4882,67}{140}$$

$$= 26,56 = 27 \text{ buah}$$

Dari data kabel *strand* yang diperoleh maka direncanakan balok prategang menggunakan 1 buah tendon. Adapun spesifikasi tendon sesuai dengan tabel *fressynet* adalah sebagai berikut :

Tipe tendon : 27C15

Jumlah *strand* : 27 buah (strand tipe ASTM)

Luas area baja, A_p : 3780 mm²

Minimum *breaking load* : 7038,90 kN

Kontrol tegangan tendon terpasang

$$\frac{F}{A_p} < 0,7 f_{pu}$$

$$\frac{4841044,87}{3780} < 0,7 \times 1860$$

$$1280,70 \text{ MPa} < 1302 \text{ MPa} \quad (\text{ok})$$

4.10.8. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya prategang dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*. Dimana kehilangan gaya prategang yang terjadi sesuai dengan tahapan-tahapan kondisi beban kerja. Kehilangan gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu:

1. Kehilangan langsung

Kehilangan langsung adalah kehilangan gaya awal prategang sesaat setelah pemberian gaya prategang pada komponen balok prategang. Kehilangan secara langsung terdiri dari :

a. Kehilangan akibat perpendekan elastis beton (*Elastic Shortening Concrete, ES*).

Akibat gaya *jacking* yang terjadi pada tendon prategang maka beton akan mengalami perpendekan elastis (karena tekanan gaya tekan), struktur balok akan memendek dan kabel juga ikut mengalami perpendekan yang menyebabkan berkurangnya gaya prategang awal. Namun pada metode pasca tarik dengan satu tendon saja kehilangan akibat elastisitas beton sangatlah kecil dan cenderung diabaikan. Sehingga kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis tidak perlu diperhitungkan.

b. Kehilangan akibat gesekan (*Wobble Effect*).

Perhitungan kehilangan prategang diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja prategang saat proses pemberian gaya prategang. Pada saat tendon ditarik dengan gaya F_0 diujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak panjang bentang. Kehilangan prategang akibat gesekan (*wobble effect*) dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$F_2 = F_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

Atau jika dinyatakan dengan tegangan :

$$f_2 = f_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$\Delta f_{pF} = f_1 - f_2 = f_1(1 - e^{-(\mu\alpha + KL)})$$

Nilai sudut kelengkungan dengan asumsi bahwa tendon parabolik mendekati bentuk busur lingkaran didapat dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari cgs)}$$

$$\alpha = \frac{8 \times 734,6}{22500} = 0,26 \text{ rad}$$

$$f_1 = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{4841044,872}{3718,16} = 1302 \text{ MPa}$$

Sedangkan nilai K dan μ didapat dari Tabel 4 SNI 2847-2013 tentang friksi dan *woble effect*, untuk kawat strand dengan untaian 7 kawat didapat nilai K = 0,0016 - 0,0066 diambil K = 0,0016/m dan μ = 0,15-0,25 diambil μ = 0,15. Sehingga nilai kehilangan akibat friksi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta f_{pF} &= f_1(1 - e^{-\mu\alpha + KL}) \\ \Delta f_{pF} &= 1302 \times (1 - e^{-((0,15 \times 0,26) + (0,0016 \times 22,5))}) \\ &= 94,86 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan dan *wobble effect* adalah :

$$\% = \frac{94,86}{1302} \times 100 = 7,29 \%$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang akibat wobble efek adalah sebesar 91,89 MPa.

c. Kehilangan akibat pengankuran.

Kehilangan akibat pengankuran atau slip angkur terjadi saat tendon baja dilepas setelah mengalami penarikan dan gaya prategang dialihkan ke angkur. Pada metode pasca tarik setelah pemberian gaya prategang dan alat *jacking* dilepas maka angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung

mengalami deformasi sehingga dapat menyebabkan tendon tergelincir.

Rumus perhitungan kehilangan prategang akibat slip ankur dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut

$$F_{pA} = \Delta f_{pA} \times A_p$$

$$\Delta f_{pA} = 2 f_{st} \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + \square \right) \times X$$

Dimana :

F_{pA} = kehilangan prategang akibat slip ankur

A_p = luas penampang tendon (5180 mm^2)

Δf_{pA} = besarnya gaya kehilangan prategang akibat ankur

L = panjang balok prategang 22,5 meter

f_{st} = besar tegangan ijin baja tendon, 1.227,26 MPa

\square = sudut kelengkungan tendon 0,076

\square = koefisien kelengkungan 0,15 (*strand* 7 kawat)

K = koefisien woble 0,0016/mm (*strand* 7 kawat)

X = koefisien slip ankur berdasarkan bentuk profil

$$= \sqrt{\frac{E_s \times g}{f_{pakai} \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}$$

Dengan :

E_s : 200000 MPa

g : diasumsikan 0,8 mm

$$= \sqrt{\frac{200000 \times 0,8}{1302 \left(\frac{0,15 \times 0,076}{22500} + 0,0016 \right)}} < \frac{22500}{2}$$

$$= 277,09 \text{ mm} < 11250 \text{ mm} \quad (\text{ok})$$

Sehingga nilai Δf_{pA} :

$$\Delta f_{pA} = 2 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{L} + \square \right) \times X$$

Karena pengaruh tegangan belum mencapai tengah bentang, maka kehilangan tegangan tidak terjadi pada tengah bentang. Sehingga,

$$\Delta f_{pA} = 0$$

Persentase kehilangan prategang akibat slip ankur adalah :

$$\% = \frac{0}{1227,26} \times 100\% = 0\%$$

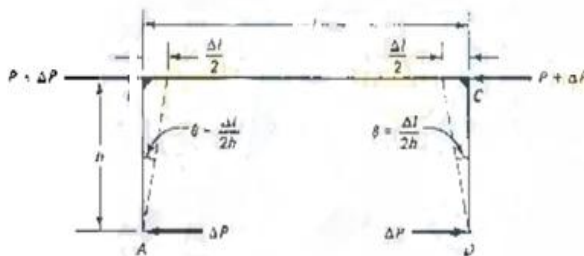
d. Kehilangan akibat kekangan kolom

Konstruksi beton prategang dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan prategang akibat kekangan kolom. Hal ini terjadi karena saat dilakukan *jacking* beton terkekang oleh kekakuan kolom. Gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpindahan beton akibat gaya *jacking* yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya prategang karena sebagian gaya prategang yang diberikan digunakan mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok prategang maka semakin besar gaya prategang yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya *jacking*. Hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari *jacking* yang terjadi. Sebaliknya jika kolom didesain tidak kaku maka gaya prategang yang hilang semakin kecil serta momen yang diterima kolom juga berkurang.

Perumusan yang digunakan untuk kehilangan gaya prategang akibat kekangan kolom ialah sebagai berikut :

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b}$$



Gambar 4. 26 Diagram kehilangan akibat kekangan kolom

Dari hasil perhitungan SAP2000, diperoleh nilai maksimum nilai momen ialah sebagai berikut, :

$$M_B = -59789,59 \text{ kgm}$$

$$M_A = 63306,33 \text{ kgm}$$

Sehingga besarnya kehilangan prategang akibat kekangan kolom adalah sebesar :

$$\Delta P = \frac{59789,59 + 63306,33}{5} = 24619,18 \text{ kg} = 246,18 \text{ kN}$$

Jadi sisa gaya prategang setelah terjadi kehilangan langsung adalah :

$$4841,04 - 352,60 - 198,82 - 246,19 = 4046,44 \text{ kN}$$

2. Kehilangan tidak langsung

Kehilangan tidak langsung adalah hilangnya gaya awalprategang yang terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama (tidak secaralangsung seketika saat pemberian gaya prategang), adapun macam kehilangan tidak langsung adalahsebagai berikut :

a. Kehilangan akibat rangkak beton (*Creep of Concrete, CR*).

Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Bagian dari regangan tekan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya prategang dikurangi oleh regangan tarik yang dihasilkan dari beban mati permanen (*Lin & Burns, 1988*). Besarnya nilai rangkak beton dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{eds})$$

Nilai K_{cr} diambil sebesar 1,6 untuk beton prategang pasca tarik. Nilai rasio modulus adalah perbandingan antara modulus elastisitas baja prategang dengan modulus elastisitas beton. E_s adalah modulus elastisitas baja prategang sebesar 200000 MPa dan E_c merupakan modulus elastisitas beton prategang yang nilainya diambil sebesar $4700 \times \sqrt{f_c} = 4700 \times \sqrt{40} = 29.725,41$ MPa sehingga nilai ratio modulus sebesar :

$$\frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{29.725,41} = 6,73$$

Nilai f_{cir} merupakan besarnya tegangan akibat berat sendiri sesaat setelah *jacking*, diasumsikan besarnya gaya *jacking* yang terjadi sudah dikurangi oleh kehilangan prategang langsung dan relaksasi pada tahap pertama yaitu $F_{cpi} = 4043714,07$ N.

$$\begin{aligned} &\text{Didapat nilai } f_{cir} \\ &= \frac{F}{A} + \frac{F \times e^2}{I} - \frac{M_{(balok + pelat)} \times e}{I} \\ &= \frac{4043714,07}{169600000} + \frac{4043714,07 \times 734,6^2}{213132956693,33} - \frac{2809687500 \times 734,6}{213132956693,33} \\ &= 2.95 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Nilai } f_{cds} \text{ akibat beban mati tambahan} \\ &= \frac{M_{tambahan} \times e}{I} = \frac{522070312,50 \times 734,6}{213132956693,33} \\ &= 1.80 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya kehilangan prategang akibat rangkai beton adalah sebesar

$$\begin{aligned} CR &= 1,6 \times 6,73 \times (1,8 - 2,95) = -12,35 \text{ MPa} \\ F_{pCR} &= CR \times A_{ps} \\ &= -12,35 \times 3780 = -46701,57 \text{ N} = -46,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Kehilangan akibat susut beton.

Susut pada beton dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rangkai, perbandingan antara volume dan permukaan, kelembaman relatif dan waktu dari akhir *curing* sampai dengan bekerjanya gaya prategang (*Lin & Burns, 1988*). Besarnya nilai susut beton dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$SH = \frac{8,2}{10^6} \times K_{sh} \times E_s \left(1 - 0,0236 \times \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH)$$

$$RH = 80 \text{ (untuk kota Surabaya)}$$

K_{sh} = koefisien jangka waktu setelah perawatan sampai penerapan prategang (diambil masa 7 hari) = 0,77

$\frac{V}{S}$ = perbandingan volume terhadap luas permukaan balok

$$\frac{V}{S} = \frac{75 \times 120 \times 2250}{(2 \times 75 \times 120) + (2 \times 75 \times 2250) + (2 \times 120 \times 2250)} = 22,60 \text{ cm}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Sehingga besarnya kehilangan prategang akibat susut beton adalah sebesar :

$$\begin{aligned} SH &= \frac{8,2}{10^6} \times 0,77 \times 200000 (1 - 0,0236 \times 22,60) \times (100 - 80) \\ &= 11,78 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{pSH} &= SH \times A_{ps} \\ &= 11,78 \times 3780 \\ &= 44528,4 \text{ N} \\ &= 44,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Kehilangan akibat relaksasi baja.

Besarnya pengaruh pengurangan gaya prategang akibat relaksasi baja dipengaruhi pada lamanya waktu dan perbandingan antara tegangan yang terjadi sebelum kehilangan langsung dengan tegangan putus baja prategang, f_{pi} / f_{pu} . Besarnya nilai relaksasi baja dapat dihitung dengan perumusan yang digunakan oleh komisi PCI sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} - J \times (SH + CR + ES)] \times C$$

Nilai K_{re} dan J adalah nilai-nilai yang diambil dari tabel 2.2. Untuk tipe stand stress-relieved 1860 Mpa diperoleh :

$$\begin{aligned} K_{re} &= 138 \\ J &= 0,15 \end{aligned}$$

Nilai C adalah perbandingan f_{pi} / f_{pu} didapat dari tabel 2.3

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = \frac{1860}{1280,7} = 0,69 \text{ didapat nilai } C = 0,94$$

Sehingga besarnya kehilangan prategang akibat relaksasi baja adalah sebesar

$$\begin{aligned} RE &= [138 - 0,15 \times (44,52 + (-46,7) + 0)] \times 0,94 \\ &= 129,80 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{PRE} &= RE \times A_p \\ &= 129,80 \times 3780 = 490649,26 \text{ N} = 129,80 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi total kehilangan gaya prategang adalah

$$= \left(\frac{0+350,6+0+246,19+(-46,7)+44,52+490,65}{4841,04} \right) \times 100\% = 22,42 \%$$

Sehingga besar gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang ialah sebesar berikut :

$$F = \frac{100-22,42}{100} \times 4841,04 = 3755,68 \text{ kN}$$

Kontrol gaya prategang setelah kehilangan prategang dari hasil perhitungan, $F = 3755680 \text{ N}$:

a. Serat atas

$$\begin{aligned} \sigma_t &\geq \frac{F}{A} - \frac{F \times e}{W_t} + \frac{M_{balok}}{W_t} \\ 18 &\geq \frac{3755680}{1696000} - \frac{3755680 \times 734,60}{583286690,46} + \frac{1139062500}{583286690,46} \\ 18 \text{ MPa} &\geq -0,56 \text{ MPa} \quad (\text{ok}) \end{aligned}$$

b. Serat bawah

$$\begin{aligned} \sigma_b &\leq \frac{F}{A} + \frac{F \times e}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} \\ -3,92 &\leq \frac{3755680}{1696000} + \frac{3755680 \times 734,60}{255371383,53} - \frac{1139062500}{255371383,53} \\ -3,92 \text{ MPa} &\leq -8,55 \text{ MPa} \quad (\text{ok}) \end{aligned}$$

Kontrol lentur yang dilakukan terhadap beton prategang sudah memenuhi syarat, baik saat sebelum atau sesudah kehilangan prategang.

4.10.9 Momen Retak

Perhitungan kuat ultimate dari betonprategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non prategang dan prategang harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar

$0,62\sqrt{f'_c}$ sehingga didapatkan $\phi M_u \geq 1.2M_{cr}$, dengan nilai $\phi = 0,69$ dari pasal 9.3.2

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok prategang dihitung dengan teori elastik dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tarik pada serat beton mencapai modulus keruntuhannya. Harus diperhatikan pula bahwa modulus keruntuhan merupakan ukuran permulaan retak rambut pertama yang sering kali tidak terlihat oleh kasat mata. Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan) :

$$M_{cr} = \left(\frac{F}{A} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left(\frac{F \times e \times Y}{I} \times \frac{I}{y_b} \right) - \left(f_r \times \frac{I}{y_b} \right)$$

$$M_{cr} = \left(\frac{F}{A} \times W_b \right) + (F \times e) - (f_r \times W_b)$$

Dimana :

F : Gaya prategang efektif, 3755680 N

f_r : Modulus keruntuhan

$$: 0,62\sqrt{f'_c} = 0,62 \times \sqrt{40} = 3,92 \text{ MPa}$$

Sehingga nilai momen retak adalah :

$$M_{cr} = \left(\frac{3755680}{1696000} \times 255371383,53 \right) + (3755680 \times 734,60) - (3,92 \times 255371383,53)$$

$$= 2323151254,39 \text{ Nmm}$$

$$= 232315,13 \text{ kgm}$$

M_u = dari hasil momen SAP2000 sebesar 492082,54 kgm

Kontrol momen retak :

$$\phi M_u \geq 1.2M_{cr}$$

$$0,9 \times 492082,54 \geq 1,2 \times 232315,13$$

$$442874,29 \text{ kgm} > 278778,15 \text{ kgm} \quad (\text{memenuhi})$$

4.10.10 Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang

memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan. Lendutan ijin pada komponen beton prategang harus memenuhi syarat seperti pada SNI 2847-2013 pasal 9.5.4 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar :

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{22500}{480} = 46,88 \text{ mm}$$

d. Lendutan akibat tekanan tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan keatas (*chambre*)

$$\Delta l_{po} = \frac{1}{8} \times \frac{F_o \times e \times l^2}{E_c \times I} = \frac{1}{8} \times \frac{4841044,87 \times 734,60 \times 22500^2}{29725,41 \times 213132956693,33}$$

$$= 35,52 \text{ mm ()}$$

e. Lendutan akibat berat sendiri dan beban mati

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri dan beban mati adalah :

W_g = beban merata akibat beban sendiri, pelat dan beban mati

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{W_g \times l^4}{E_c \times I} = \frac{5}{384} \times \frac{52,65 \times 22500^4}{29725,41 \times 213132956693,33}$$

$$= 27,73 \text{ mm ()}$$

Lendutan jangka panjang panjang tambahan dari komponen struktur beton prategang harus dihitung dengan memperhatikan pengaruh tegangan dalam beton dan baja akibat beban tetap dan termasuk pengaruh rangkai dan susut beton dan relaksasi baja. Dalam PCI Design Handbook memperlihatkan angka pengali yang diturunkan oleh Martin untuk memperkirakan lendutan ke atas dan lendutan ke bawah dalam jangka waktu yang panjang pada komponen struktur yang tipikal. Sehingga diperoleh nilai lendutan jangka panjang balok prategang adalah :

- a. Lendutan akibat tekanan tendon :

Angka pengali dari komponen lendutan ke atas sebesar 2,45

$$\Delta l_{po} = 35,52 \times 2,45 = 87,03 \text{ mm}$$

- b. Lendutan akibat berat sendiri dan beban mati :

Angka pengali dari komponen lendutan ke bawah sebesar 2,7

$$\Delta l_{po} = 27,73 \times 2,7 = 74,88 \text{ mm}$$

Sehingga lendutan akhir yang diperkirakan adalah sebesar :

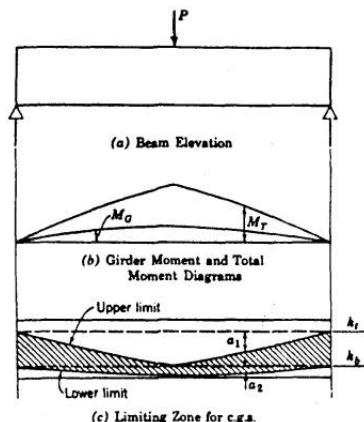
$$87,03 - 74,88 = 12,15 \text{ mm ke atas.}$$

Kontrol lendutan terhadap lendutan ijin :

$$12,15 \text{ mm} \leq 45,50 \text{ mm} \quad (\text{ok})$$

4.10.11 Daerah Limit Kabel

Daerah limit kabel adalah daerah dimana kabel tendon prategang boleh berada tanpa menimbulkan tegangan-tegangan yang menyalahi tegangan yang diijinkan. Sehingga pada daerah tersebut gaya prategang dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada serat beton.



Gambar 4. 27 Batas daerah limit kabel

(Sumber :Desain Struktur Beton Prategang, T.Y Lins & H. Burns)

Letak titik berat tendon tidak boleh berada di atas kern atas dan tidak boleh berada di bawah kern bawah. a_j diukur dari kern

atas ke bawah dan a_2 diukur dari kern bawah ke bawah. Gambar 8.3 (c) menunjukkan ilustrasi daerah limit kabel dimana tendon diletakkan pada daerah yang diarsir.

Mencari jari-jari inersia :

$$i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{213132956693,33}{1696000}} = 354,50 \text{ mm}$$

Batas paling bawah letak kabel prategang agar tidak terjadi tegangan serat paling atas beton ialah :

$$k_b = \frac{i^2}{y_t} = \frac{354,50^2}{365,4} = 343,92 \text{ mm}$$

Batas paling atas letak kabel prategang agar tidak terjadi tegangan serat paling bawah beton ialah :

$$k_t = \frac{i^2}{y_b} = \frac{354,50^2}{834,6} = 150,57 \text{ mm}$$

Mencari nilai daerah limit kabel dimana :

M_T : Momen total beban mati dan hidup hasil SAP2000

M_G : Momen dari balok prategang sendiri hasil SAP2000

F : Gaya prategang setelah kehilangan

F_o : Gaya prategang awal

$$a_1 = \frac{M_T}{F} = \frac{7508320312,50}{3755786,35} = 1999,13 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{M_G}{F_o} = \frac{4920825400}{4841044,87} = 401,74 \text{ mm}$$

Posisi Tendon

Bentuk lintasan tendon adalah parabola dan untuk mengetahui posisi tendon digunakan persamaan garis lengkung, perhitungan ditinjau setengah bentang :

$$Y_i = \frac{4 \times f \times X_i \times (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana,

Y_i : ordinat tendon yang ditinjau

X_i : absis tendon yang ditinjau

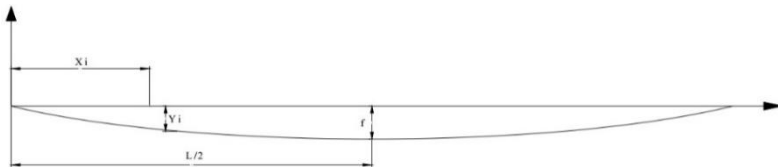
L : panjang bentang, 22500 mm

f : tinggi puncak parabola maksimum, 734,60 mm

Sehingga apabila posisi tendon dihitung jarak dari tepi serat bawah balok, :

$$\text{Posisi tendon} = Y_{\text{bottom}} - Y_i$$

$$Y_{\text{bottom}} = 834,60 \text{ mm}$$



Gambar 4. 28 Letak posisi tendon ditabelkan dalam tabel 4.19

Tabel 4. 20 Letak Posisi Tendon

Jarak tinjau X_i (mm)	Y_i (mm)	Letak tendon dari tepi bawah (mm)
0.00	0.00	834.60
351.50	45.19	789.41
2,812.50	321.39	513.21
5,625.00	550.95	283.65
8,437.50	688.69	145.91
11,250.00	734.60	100.00

4.10.12 Penulangan Geser

Perilaku balok pratang pada saat gagal karena geser sangat berbeda dengan perilaku lentur, yaitu balok tersebut gagal secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan sebelumnya yang menandai dan retak yang terjadi jauh lebih lebar daripada retak lentur (*E.G. Nawy, 2001*).

Penulangan geser pada balok prategang berfungsi untuk menanggulangi gaya geser akibat beban luar yang terjadi pada balok. Kemampuan menahan gaya geser ditentukan oleh kekuatan penampang badan dan tulangan geser terpasang. Retak yang terjadi akibat gaya geser adalah retak geser pada badan dekat tumpuan dan retak lentur geser miring dekat tengah bentang diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 dengan syarat batas spasi sesuai pasal 11.4.5.1

Jika gaya geser yang terjadi melebihi kapasitas kekuatan penampang beton untuk menahan gaya geser maka dibutuhkan penulangan geser sesuai pasal 11.4.7 dan jika tidak maka hanya perlu dipasang tulangan geser minimum.

Besarnya kebutuhan tulangan geser yang diperlukan oleh balok adalah $V_s = V_u - \phi V_c$ dimana V_u adalah gaya geser ultimit yang terjadi sedangkan ϕV_c adalah kuat geser yang disumbangkan beton. Untuk komponen balok prategang nilai ϕV_c diambil dari nilai terkecil antara V_{ci} dan V_{cw} .

Data Perencanaan

Data-data yang diperlukan untuk merencanakan tulangan geser sebagai berikut :

Gaya dalam didapat dari hasil perhitungan program SAP2000 :

Mutu tulangan : 400 MPa

Diameter, D : 13 mm

F_{eff} : 3755680 N (gaya prategang setelah kehilangan)

V_d' : 61454,20 kg

V_i' : 105755,35 kg

$M_{d \text{ tumpuan}}$: 24323,28 kgm

$M_{d \text{ lapangan}}$: 176636,43 kgm

$M_{\max \text{ tumpuan}}$: 221595,73 kgm

$M_{\max \text{ lapangan}}$: 200287,63 kgm

Dimana :

V_d' : Gaya geser akibat beban mati (dead)

- V_i' : Gaya geser akibat beban hidup & beban mati total
 M_d : Momen akibat berat sendiri balok
 M_{max} : Momen akibat beban mati total dan beban hidup

4.10.12 Kuat Geser yang Disumbangkan Beton

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang.

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f'_c} + f_{pc})b_w \times d + V_p$$

Dimana :

V_p : Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang

d : Jarak serat tekan terluar ke titik berat tendon

f_{pc} : Tegangan tekan setelah kehilangan gaya prategang

$$= \frac{F}{A_{beton}} = \frac{3755680}{1696000} = 2,21 \text{ MPa}$$

$$P = \frac{8 \times F \times f}{L^2} = \frac{8 \times 3755680 \times 734,6}{22500^2} = 43,60 \text{ MPa}$$

$$V_p' = \frac{L}{2} \times P = \frac{22500}{2} \times 43,60 = 490489 \text{ N}$$

Daerah Tumpuan

Jarak x diambil sebesar $0,5 \times h_{kolom} = 0,5 \times 1200 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$

$$V_p = \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V_p' = \frac{0,5 \times 22500 - 600}{0,5 \times 22500} \times 490489 = 464329,59 \text{ N}$$

d : 789,41 mm

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{40} + 2,21) \times 750 \times 789,41 + 464329,59 = 1981017,88 \text{ N}$$

Daerah Lapangan

Jarak x diambil sebesar sendi plastis = 5625 mm

$$V_p : \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V_p' = \frac{0,5 \times 22500 - 5625}{0,5 \times 22500} \times 464329,59 = 252438,34 \text{ N}$$

d : 1000 mm

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{40} + 2,21) \times 750 \times 1000 + 252438,34 = 2173725,04 \text{ N}$$

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser.

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} b_w \times d + V_d + \frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}} \right)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\ f_{pe} &= \frac{F_{eff}}{A_{beton}} + \frac{F_{eff} \times e}{W_{bott}} ; \quad f_d = \frac{M_d}{W_{bott}} \\ V_d &= \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V'_d ; \quad V_i = \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V'_i \end{aligned}$$

Daerah Tumpuan

Jarak x diambil sebesar $0,5 \times h_{kolom} = 0,5 \times 1200 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} f_{pe} &= \frac{3755680}{1696000} + \frac{3755680 \times 45,19}{255371383,53} = 2,88 \text{ MPa} \\ f_d &= \frac{1944825000}{255371383,53} = 7,62 \text{ MPa} \\ M_{cr} &= \left(\frac{213132956693,33}{365,4} \right) \times \left(\frac{\sqrt{40}}{2} + 2,88 - 7,62 \right) \\ &= -918281999,6 \text{ Nmm} \\ V_d &= \frac{0,5 \times 22500 - 600}{0,5 \times 22500} \times 61454,20 = 286786,27 \text{ N} \\ V_i &= \frac{0,5 \times 22500 - 600}{0,5 \times 22500} \times 105755,35 = 493524,97 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga nilai V_{ci} untuk tumpuan :

$$\begin{aligned} V_{ci} &= \left(\frac{\sqrt{40}}{20} \times 750 \times 1000 + 286786,27 + \frac{493524,97 \times 918281999,6}{2002876300} \right) \\ &= 678526,31 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai V_{ci} tidak boleh lebih kecil dari :

$$\frac{\sqrt{f'_c}}{7} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{40}}{7} \times 750 \times 1000 = 677630,93 \text{ N}$$

Sehingga nilai V_{ci} dipakai 678526,31 N

Daerah Lapangan

Jarak x diambil sebesar 5625 mm

$$f_{pe} = \frac{3755680}{1696000} + \frac{3755680 \times 734,6}{255371383,53} = 13,02 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= \frac{1944825000}{255371383,53} = 6,92 \text{ MPa} \\
 M_{cr} &= \left(\frac{213132956693,33}{365,4} \right) \times \left(\frac{\sqrt{40}}{2} + 13,02 - 6,92 \right) \\
 &= 5403454045,85 \text{ Nmm} \\
 V_d &= \frac{0,5 \times 22500 - 562,5}{0,5 \times 22500} \times 61454,20 = 307271 \text{ N} \\
 V_i &= \frac{0,5 \times 22500 - 562,5}{0,5 \times 22500} \times 105755,35 = 528776,75 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai V_{ci} untuk tumpuan :

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left(\frac{\sqrt{40}}{20} \times 750 \times 562,5 + 307271 + \frac{528776,75 \times 5403454045,85}{2002876300} \right) \\
 &= 1971000,65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai V_{ci} tidak boleh lebih kecil dari :

$$\frac{\sqrt{f'_c}}{7} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{40}}{7} \times 750 \times 1000 = 677630,93 \text{ N}$$

Sehingga nilai V_{ci} dipakai 1971000,65 N

4.10.13 Perencanaan Tulangan Geser

Tulangan geser akan dipasang pada struktur prategang pada daerah tumpuan dan daerah lapangan. Besarnya nilai V_c diambil yang terkecil dari nilai antara V_{cw} dan V_{ci} .

$$V_g = V_d' + V_i' = 614542 + 1057553,5 = 1672095,5 \text{ N}$$

$$V_u = V_g + V_p' = 1672095,5 + 490489 = 2162584,50 \text{ N}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,67 \text{ mm}^2$$

$$d = 1139 \text{ mm}$$

Daerah Tumpuan

Jarak x sebesar 600 mm

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V_u \\
 &= \frac{0,5 \times 22500 - 600}{0,5 \times 22500} \times 2162584,50 = 2047246,67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_c = N$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_u - V_c \\
 &= 747.245,70 - 0,75 \times 273.219,93 = 501.273,30 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan :

$$s = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{132,66 \times 400 \times 1.039}{501.273,30} = 109,99 \text{ mm}$$

sehingga dapat dipasang tulangan geser D13 – 100 mm pada daerah tumpuan.

Daerah Lapangan

Jarak x sebesar 5.460 mm

$$V_u = \frac{0,5L-x}{0,5L} \times V_u$$

$$= \frac{0,5 \times 21.840 - 5.460}{0,5 \times 21.840} \times 747.245,70 = 709.883,42 \text{ N}$$

$$V_c = 373.695,06 \text{ N}$$

$$V_s = V_u - \phi V_c$$

$$= 709.883,42 - 0,75 \times 373.695,06 = 429.612,13 \text{ N}$$

Jarak spasi tulangan :

$$s = \frac{A_s \times f_y \times d}{V_s} = \frac{132,66 \times 400 \times 1.039}{429.612,13} = 128,34 \text{ mm}$$

sehingga dapat dipasang tulangan geser D13 – 120 mm pada daerah lapangan.

4.10.14 Pengankuran Ujung

Pada balok prategangprategang pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya prategang maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengankuran global di isyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.13.4.2.

Zona angkur dapat didefinisikan sebagai volume beton dimana gaya prategang yang terpusat pada angkur menyebar ke arah transversal menjadi terdistribusi linier diseluruh tinggi penampang disepanjang bentang.

Penulangan pengekanan di seluruh zona pengankuran harus sedemikian rupa hingga mencegah pembelahan dan bursting yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan melalui alat angkur. Metode perhitungan perencanaan daerah

pengankuran global sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 20.13.5 Gaya tendon dikalikan dengan faktor beban sebesar 1,2.

$$F_o = 4841044,86 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 F_o = 1,2 \times 4841044,86 = 5809253,83 \text{ N}$$

Salah satu metode perhitungan yang dapat digunakan untuk perencanaan daerah pengankuran global yaitu :

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \Sigma P_u \left(1 - \frac{a}{h} \right)$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h - 2e)$$

Dimana :

ΣP_u : Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

a : Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

e : Eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)

h : Tinggi penampang pada arah yang ditinjau

Nilai yang diperoleh :

$$a = 390 \text{ mm (angkur dengan strand 6-3)}$$

$$e = 35,41 \text{ mm (eksentrisitas pada tumpuan)}$$

$$h = 1.100 \text{ mm}$$

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_{\text{pencar}} &= 0,25 \times 6139736,36 \times \left(1 - \frac{390}{1.100} \right) \\ &= 415365,09 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{\text{pencar}} &= 0,5 \times [1.100 - (2 \times 35,41)] \\ &= 514,59 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{415.365,09}{400} = 1.038,41 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13 ($A_v = 132,67 \text{ mm}^2$), maka kebutuhan tulangan sengkang ialah sebanyak :

$$n = \frac{1.038,41}{132,67} = 7,83 \approx 8 \text{ buah}$$

Spasi antar sengkang dihitung dengan cara

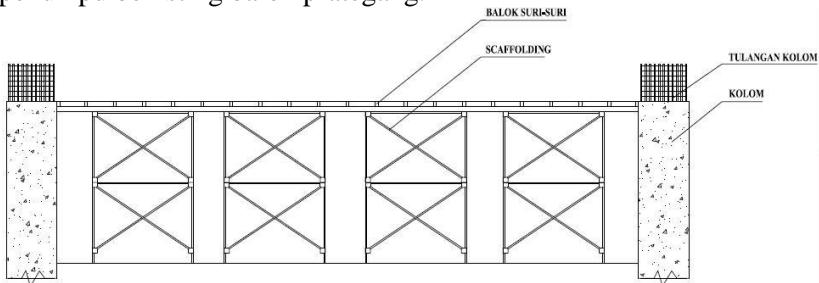
$$s = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{514,59}{8} = 64,32 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dipasang sengkang D13 – 60 mm.

4.11 Metode Pelaksanaan Struktur Prategang

Metode sistem balok beton prategang pada Tugas Akhir ini adalah menggunakan sistem pasca tarik yaitu metode prategang dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Balok beton prategang dibuat secara *case in place* atau pengecoran ditempat. Metode pelaksanaan dari sistem pasca tarik yaitu :

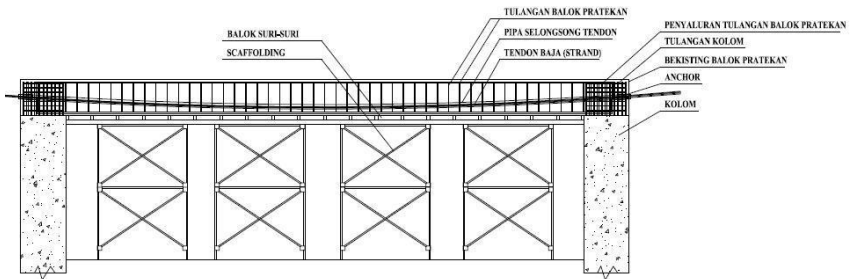
1. Setelah kolom penumpu balok prategang selesai dicor, kemudian *scaffolding* diinstal beserta balok suri-suri sebagai penumpu bekisting balok prategang.



Gambar 4. 29 Pemasangan scaffolding dan balok suri-suri

2. Membuat bekisting balok prategang yang sesuai dengan rencana letak komponen balok.
 3. Tulangan balok prategang dan pipa selongsong tendon diinstal sesuai perencanaan.
 4. Pada hubungan antara kolom dan balok prategang, panjang penyaluran tulangan diatur sedemikian rupa sesuai SNI 2847-2013 pasal 12.

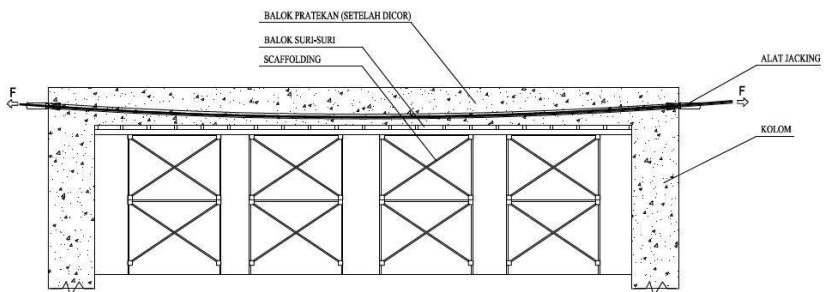
5. Masukkan tendon baja (strand) kedalam pipa selongsong dan pasang *anchor* tendonnya.



Gambar 4. 30 Pemasangan bekisting, pipa selongsong dan tendon balok prategang

6. Beton dicor kedalam bekisting balok.

7. Setelah balok mengeras, pasang *head anchor* kemudian dilanjutkan proses *jacking* pada kedua ujung tendon yang telah terpasang. Setelah itu potong kelebihan tendon baja.



Gambar 4. 31 Proses jacking balok prategang

8. Pasang *anchor grout cap* dan dilanjutkan proses *grouting*.

9. Proses stressing pada beton usia 14 hari ($f_c' 35 \text{ MPa}$).

10. Balok prategang selesai.

11. Pemasangan bekisting untuk balok dan pelat sekitar balok prategang.
12. Beton dicor kedalam bekisting yang sudah dibuat.

4.12 Rencana Anggaran Biaya Balok Presstress per Segmen

NO.	URAIAN	VOLUME	SAT	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
				Rp.	Rp.
1	Pekerjaan beton				
a	Pengecoran beton K-500	20.25	m ³	1,361,593.54	27,572,269.25
b	Bekisting	62.55	m ²	130,026.67	8,133,168.00
c	Duct/selongsong galvanis	22.5	m ¹	132,500.00	2,981,250.00
2	Pekerjaan install balok prestressed	1	titik	328,111.89	328,111.89
3	Pekerjaan stressing balok prestressed	1	titik	9,651,376.99	9,651,376.99
4	Pekerjaan grouting kabel stressing	1	titik	1,302,262.50	1,302,262.50
5	Pekerjaan grouting lubang stressing	1	titik	3,204,491.25	3,204,491.25
6	Angkur tanam D13-300	5	buah	6,543.71	32,718.56
	Subtotal 3				53,205,648.44
	TOTAL				53,205,648.44

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Kemampuan struktur utama apartemen 13 lantai ini terdiri dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).
2. Berdasarkan permodelan struktur, hasil simpangan antar lantai analisa struktur pada arah X dan arah Y sudah memenuhi persyaratan kontrol kinerja batas layan struktur akibat beban gempa yang disyaratkan pada SNI 1726-2012.

Terhadap sumbu X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	de (mm)	dxe (mm)	dx (mm)	da (mm)	KET
Lantai DAK	42.00	3.00	50.64	1.50	8.25	60	OK
Lantai 13	39.00	3.00	49.14	2.08	11.44	60	OK
Lantai 12	36.00	3.00	47.06	2.73	15.02	60	OK
Lantai 11	33.00	3.00	44.33	3.36	18.48	60	OK
Lantai 10	30.00	3.00	40.97	3.93	21.62	60	OK
Lantai 9	27.00	3.00	37.04	4.45	24.48	60	OK
Lantai 8	24.00	3.00	32.59	4.93	27.12	60	OK
Lantai 7	21.00	3.00	27.66	5.26	28.93	60	OK
Lantai 6	18.00	3.00	22.40	5.40	29.70	60	OK
Lantai 5	15.00	5.00	17.00	8.64	47.52	100	OK
Lantai 4	10.00	4.00	8.36	3.06	16.83	80	OK
Lantai 3	6.00	3.00	5.30	2.83	15.57	60	OK
Lantai 2	3.00	3.00	2.47	2.47	13.59	60	OK
Lantai 1	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0	KO

Terhadap sumbu Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	de (mm)	dx _e (mm)	dx (mm)	da (mm)	KET
Lantai DAK	42.00	3.00	62.80	1.54	8.47	60	OK
Lantai 13	39.00	3.00	61.26	2.16	11.88	60	OK
Lantai 12	36.00	3.00	59.10	2.85	15.68	60	OK
Lantai 11	33.00	3.00	56.25	3.53	19.42	60	OK
Lantai 10	30.00	3.00	52.72	4.15	22.83	60	OK
Lantai 9	27.00	3.00	48.57	4.71	25.91	60	OK
Lantai 8	24.00	3.00	43.86	5.21	28.66	60	OK
Lantai 7	21.00	3.00	38.65	5.67	31.19	60	OK
Lantai 6	18.00	3.00	32.98	6.16	33.88	60	OK
Lantai 5	15.00	5.00	26.82	11.75	64.63	100	OK
Lantai 4	10.00	4.00	15.07	8.37	46.04	80	OK
Lantai 3	6.00	3.00	6.70	4.53	24.92	60	OK
Lantai 2	3.00	3.00	2.17	2.17	11.94	60	OK
Lantai 1	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0	KO

3. Dari hasil modifikasi perancangan struktur gedung apartemen 13 lantai Surabaya didapatkan data-data perencanaan sebagai berikut :

No.	Tipe Balok	Dimensi Balok
1	Balok Induk B1	50/70
2	Balok Induk B2	40/60
3	Balok Induk B3	35/50
4	Balok Induk B4	40/60
5	Balok Induk BK1	50/70
6	Balok Induk BK2	30/50
7	Balok Induk BR	40/60
8	Balok Anak BA1	30/45
9	Balok Anak BA2	30/45
10	Balok Anak BA3	30/45

No.	Tipe Kolom	Dimensi Kolom
1	Kolom K1	50/80
2	Kolom K2	50/50
3	Kolom K3	85/85
4	Kolom K4	50/50
5	Kolom K5	40/40
6	Kolom KR	40/40

4. Gaya prategang yang dibutuhkan pada struktur utama Balok Prategang sepanjang 22,50 meter dengan dimensi 75 cm / 120 cm adalah 4841,04 kN dengan kehilangan gaya prategang yang didapat sebesar 22,42%.

5.2 Saran

1. Perencanaan struktur balok prategang yang menggunakan metode pengecoran *cast in situ* yang terletak pada ketinggian perlu memikirkan kemudahan dalam aplikasi di lapangan sehingga pelaksanaannya nanti dapat berjalan dengan baik dan sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Lin T.Y., dan Ned H. Burns. 2000. **Desain Struktur Beton Prategang Ed. 3 Jil. 1**, Diterjemahkan oleh : Mediana. Jakarta : Erlangga.
- Nawy, Edward G. 2001. **Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Ed 3 Jil 1**. Diterjemahkan Oleh : Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2012)**, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta 2012.
- Tata Cara Pembebanan Untuk Bangunan Gedung (SNI-1727-2012)**, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta 2012.
- Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI-2847-2013)**, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta 2013,
- Pangaribuan, Herri Mangara. (2012). **Kajian Keandalan Struktur Gedung Tahan Gempa yang Menggunakan Balok Prategang**.
- Imran, Yuliardi, Suhelda, dan Kristianto. (2008). **Aplicability Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang**. Seminar dan Pameran HAKI 2008 - Pengaruh Gempa dan Angin terhadap Struktur.

LAMPIRAN



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , f_c = 30 MPa
- BALOK : K-350 , f_c = 30 MPa
- PELAT : K-350 , f_c = 30 MPa
- KOLOM : K-400 , f_c = 35 MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
KOLOM

1 : 300

KODE GAMBAR

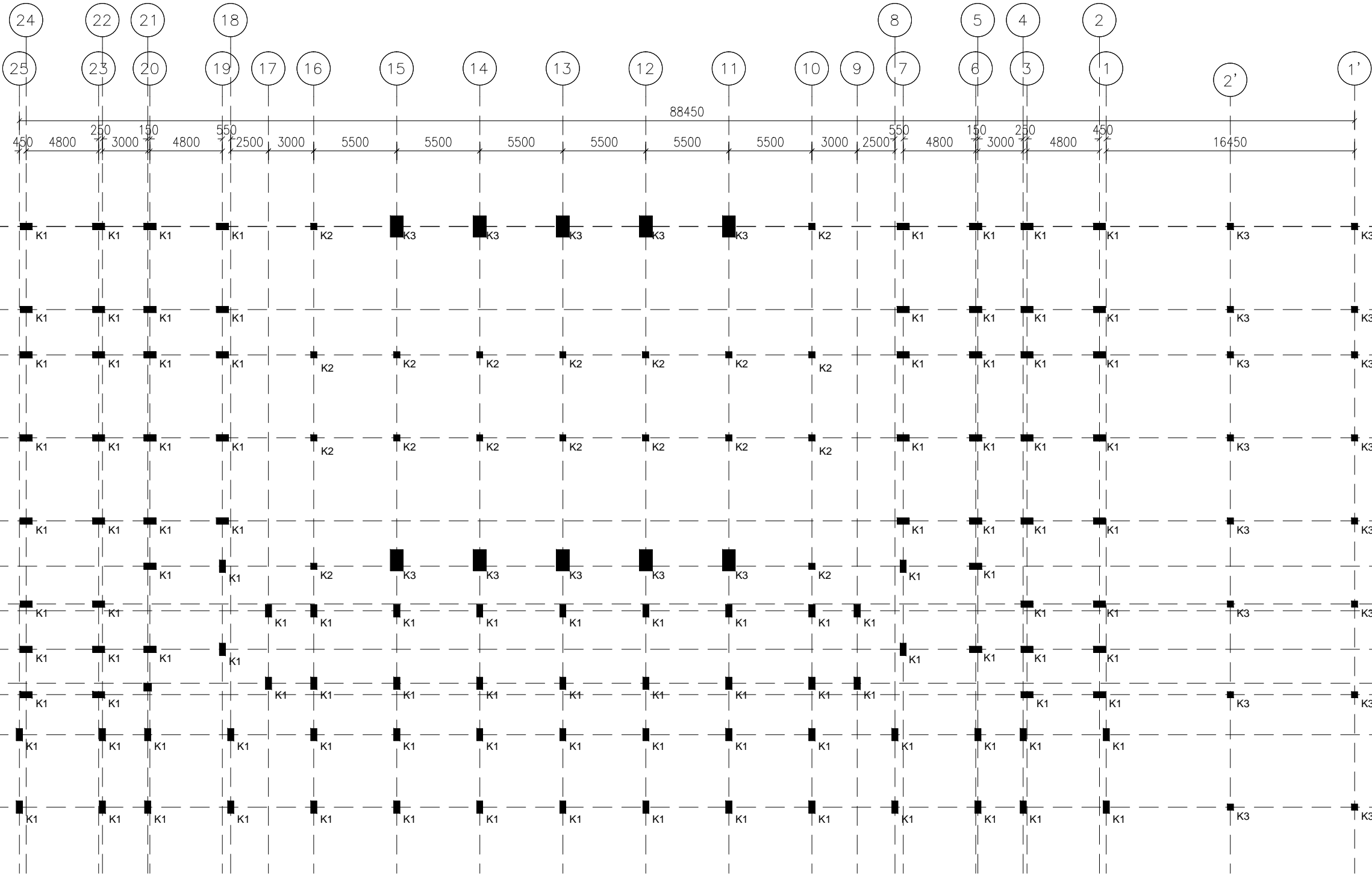
STR

NO LEMBAR

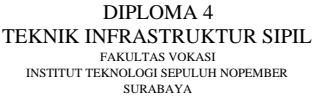
JML. LEMBAR

01

21



DENAH KOLOM
SKALA 1:300



2. MUTU BETON :

- SLOOF	: K-350 , $f_c = 30 \text{ MPa}$
- BALOK	: K-350 , $f_c = 30 \text{ MPa}$
- PELAT	: K-350 , $f_c = 30 \text{ MPa}$
- KOLOM	: K-400 , $f_c = 35 \text{ MPa}$

JUDUL TUGAS

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
SLOOF
ELEVASI ±0.00

1 : 300

KODE GAMBAR

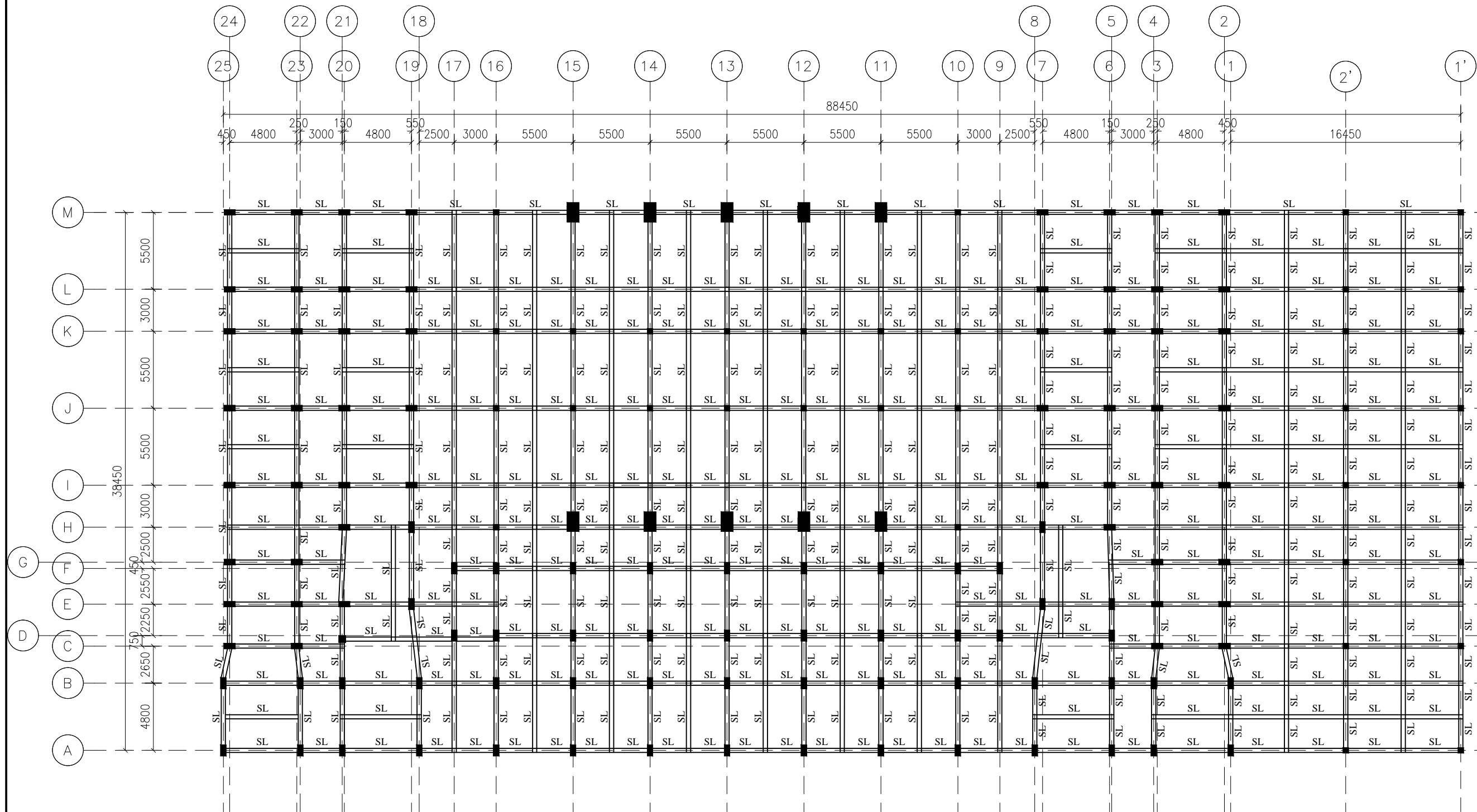
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

02

21



DENAH SLOOF LT.1

SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH BALOK
LANTAI 2
ELEVASI +3.00

1 : 300

KODE GAMBAR

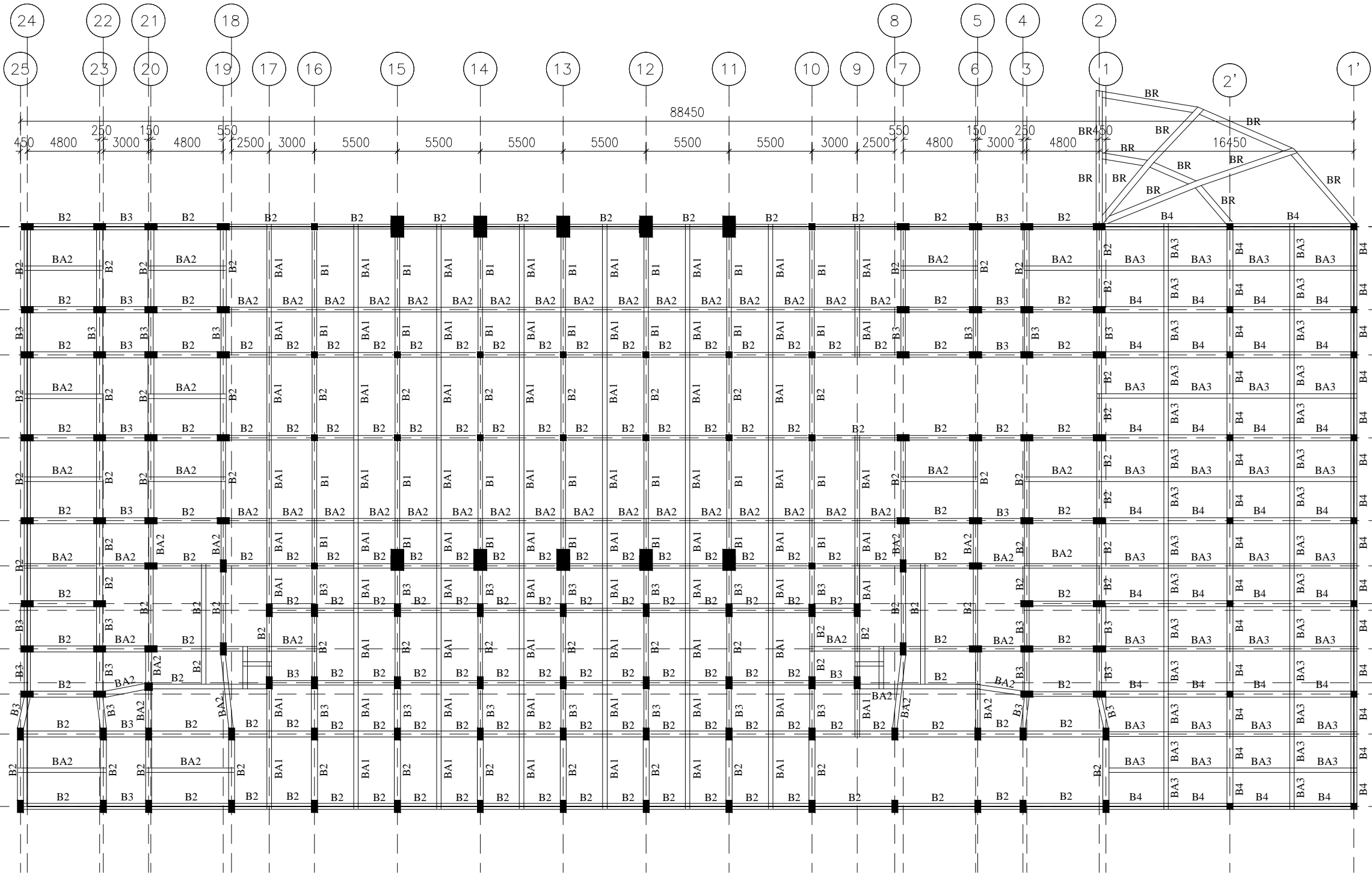
STR

NO LEMBAR

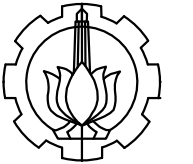
JML. LEMBAR

03

21



DENAH BALOK LT.2
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI 3-4

SKALA

1 : 300

KODE GAMBAR

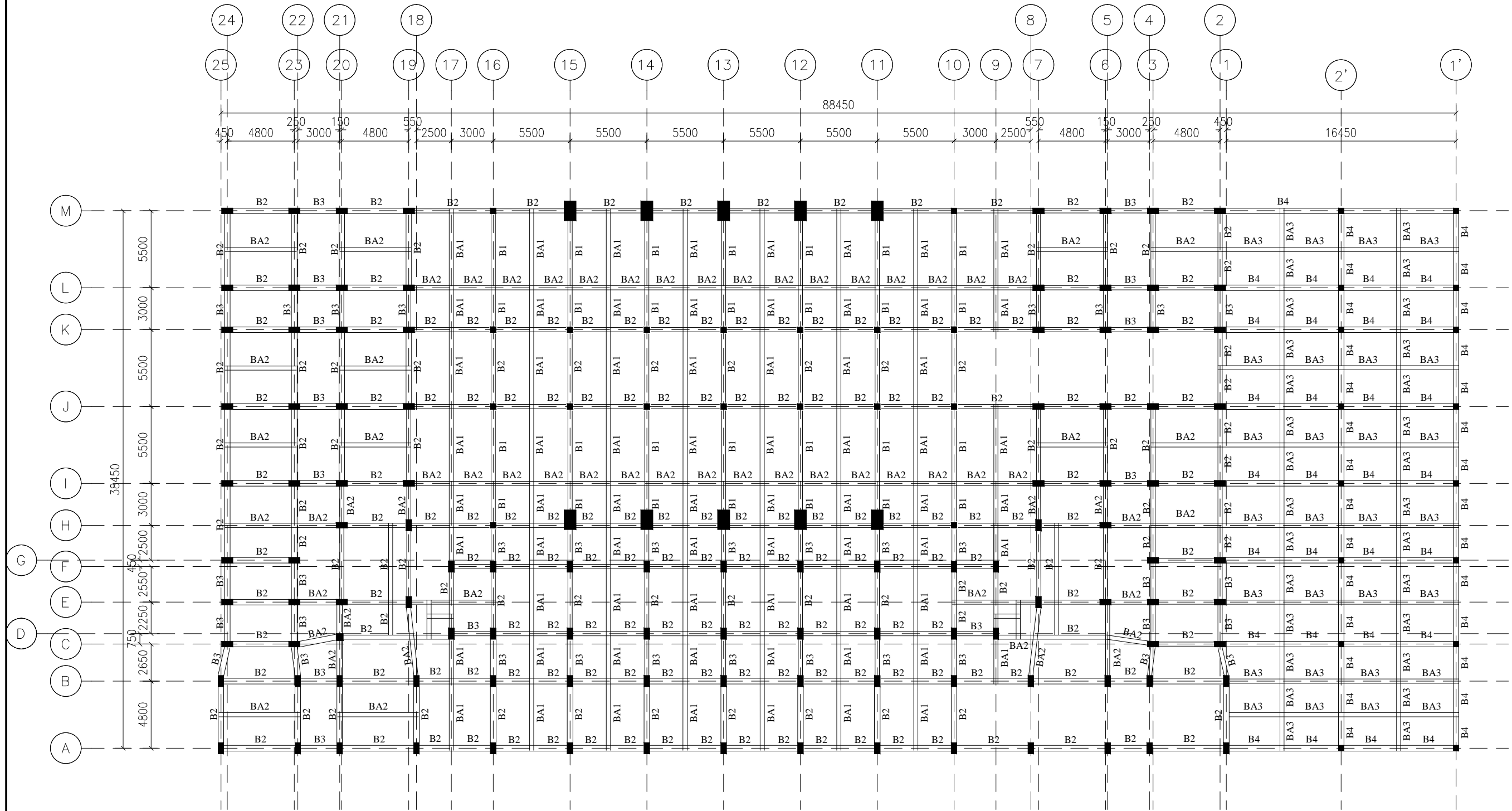
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

04

21



DENAH BALOK LT.3 - LT.4
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI 5
(R)

SKALA

1 : 300

KODE GAMBAR

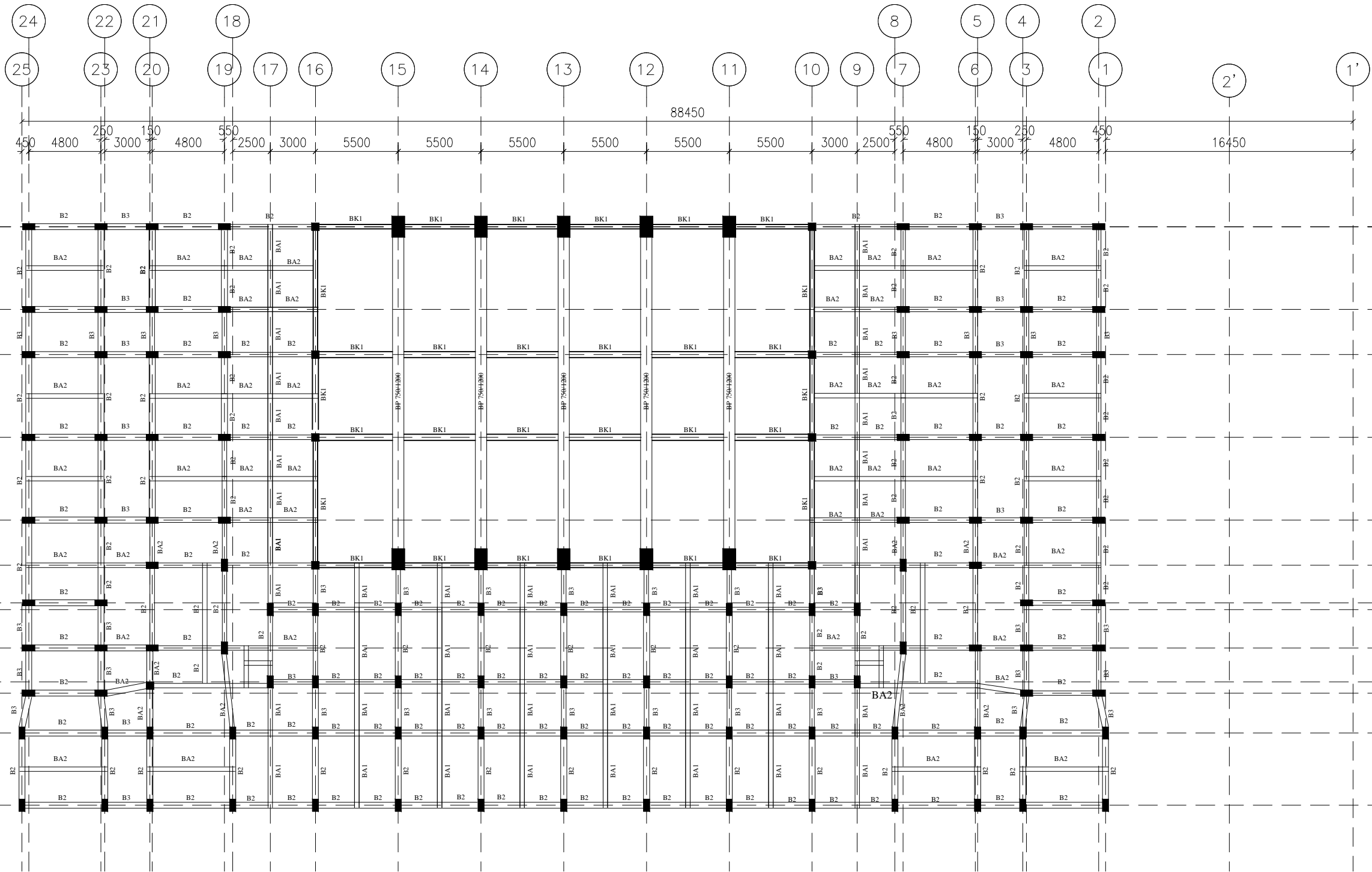
STR

NO LEMBAR

05

JML. LEMBAR

21



DENAH BALOK LT. 5
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI 6-13

SKALA

1 : 300

KODE GAMBAR

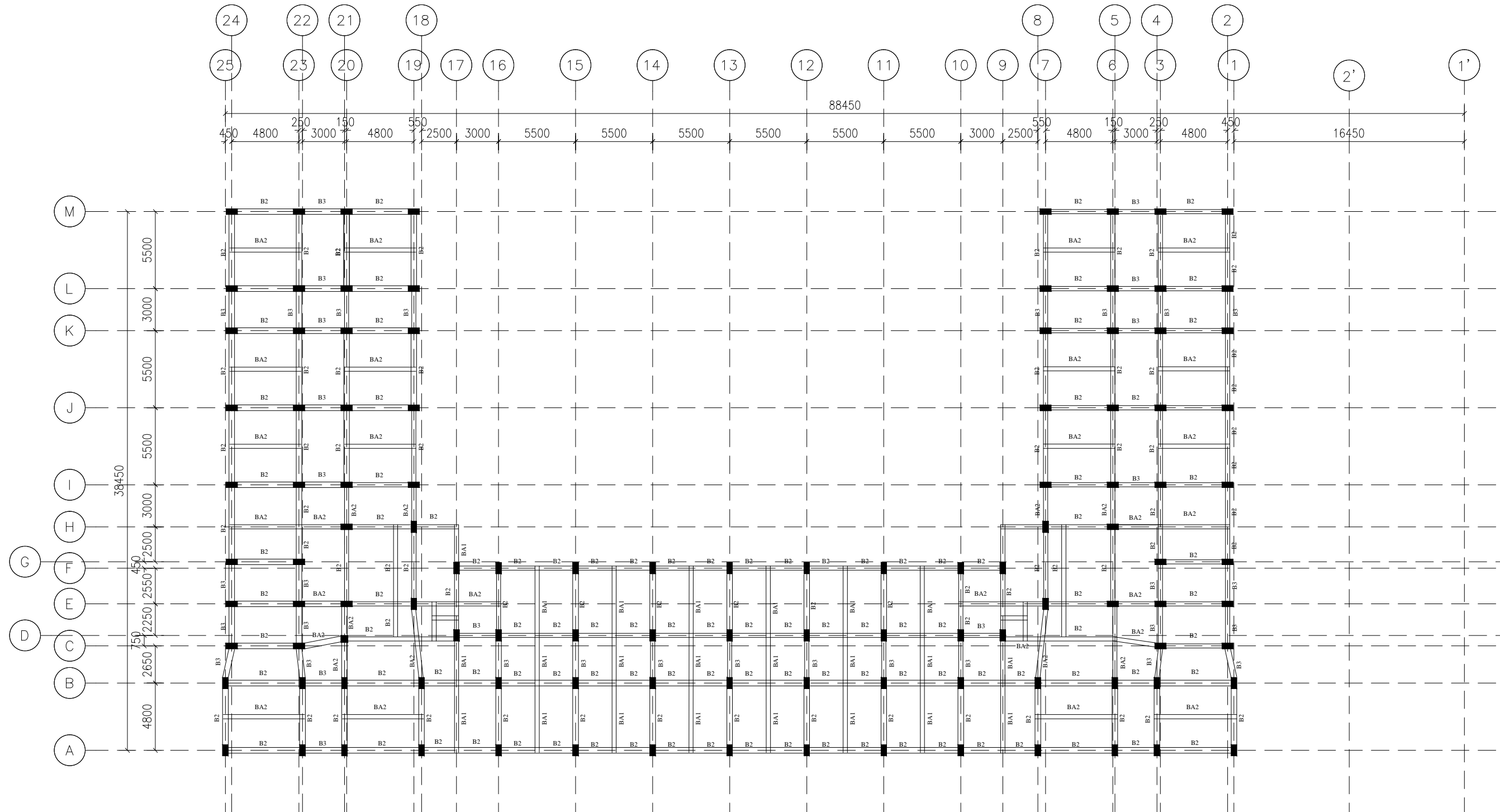
STR

NO LEMBAR

06

JML. LEMBAR

21



DENAH BALOK LT.6 - LT.13
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , f_c = 30 MPa
- BALOK : K-350 , f_c = 30 MPa
- PELAT : K-350 , f_c = 30 MPa
- KOLOM : K-400 , f_c = 35 MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK
LANTAI ATAP

SKALA

1 : 300

KODE GAMBAR

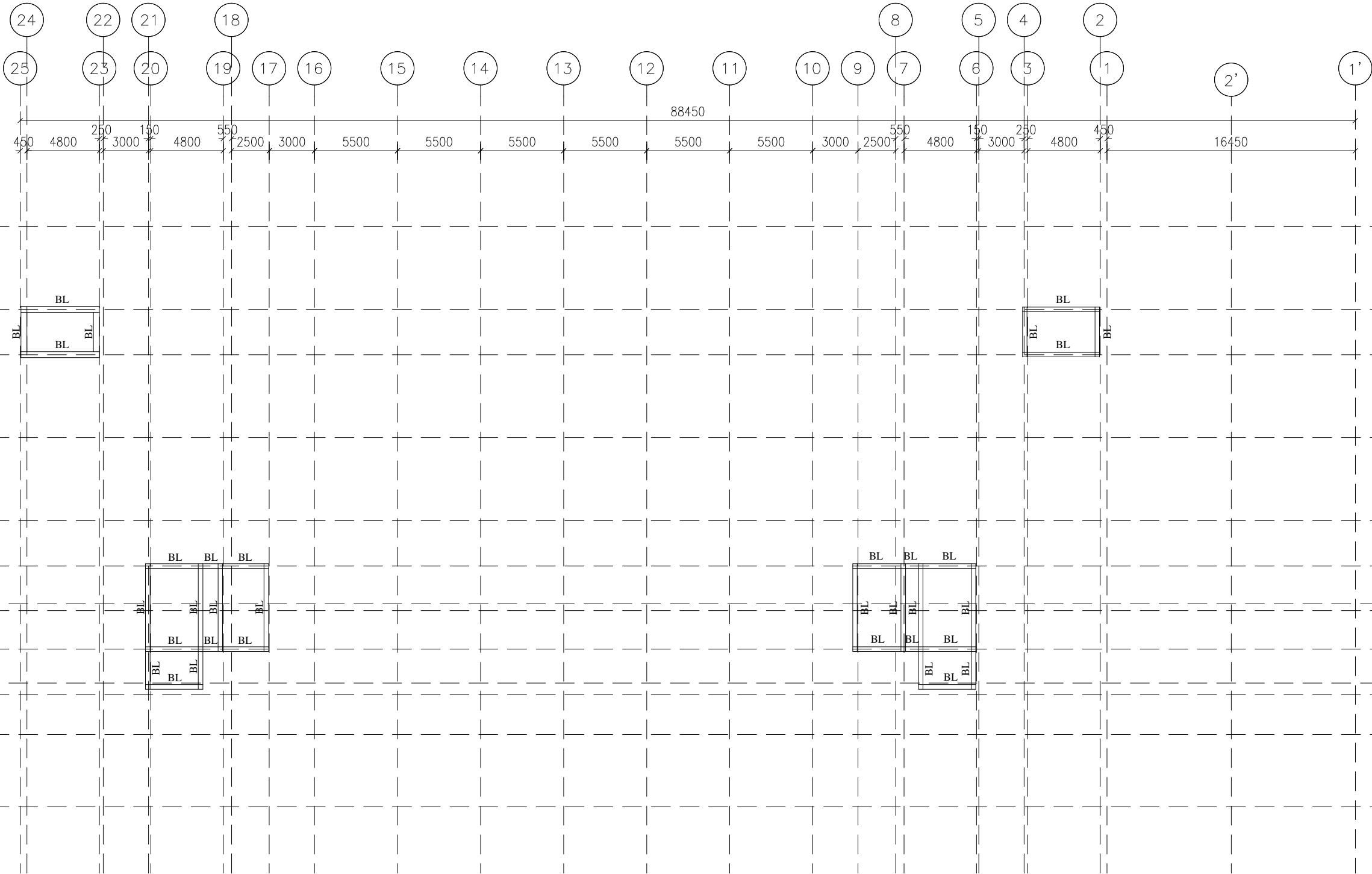
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

07

21



DENAH BALOK LT. ATAP
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
PELAT

1 : 300

KODE GAMBAR

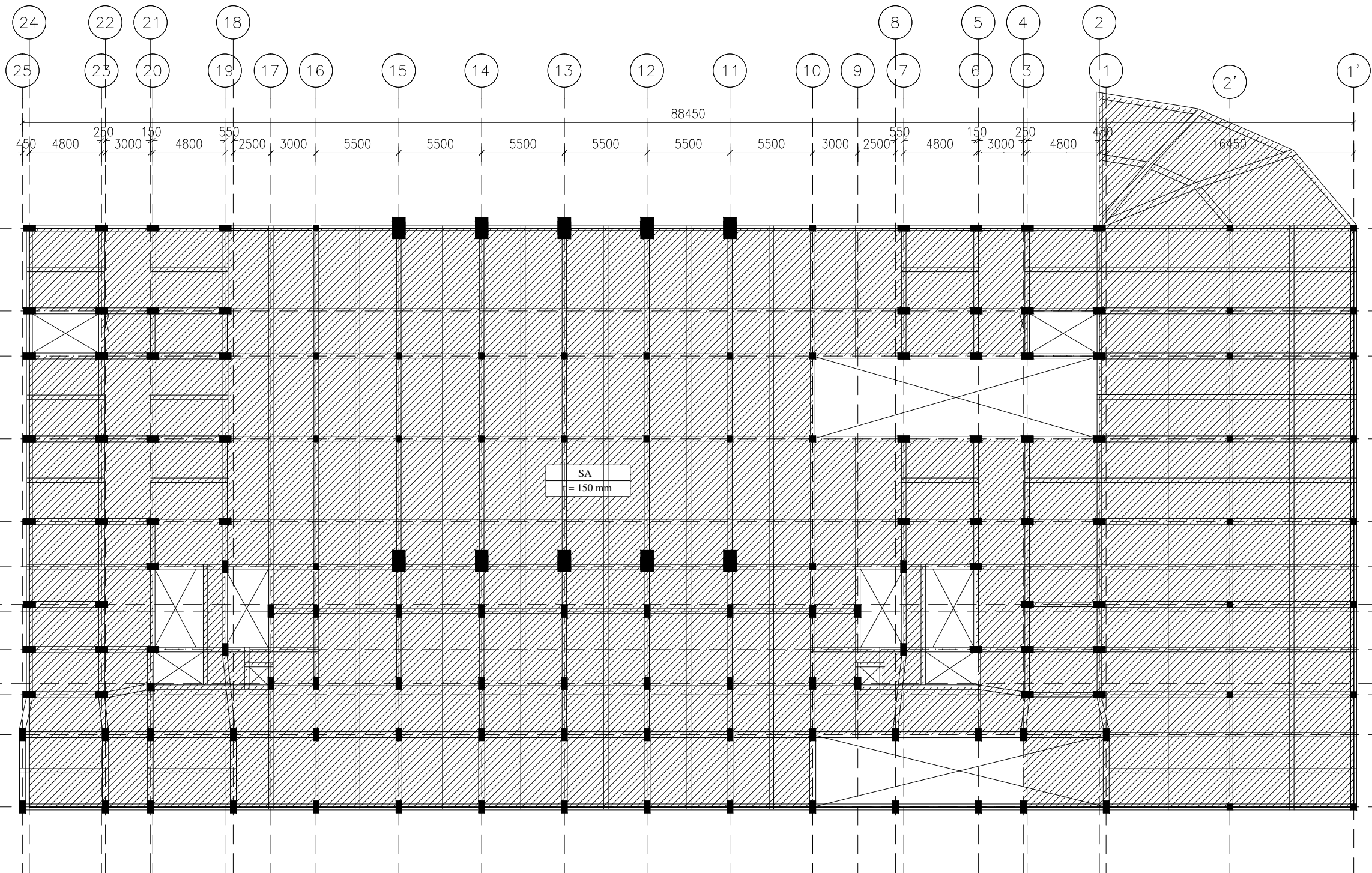
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

08

21



DENAH PELAT LT.2 (t = 150 mm)
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
PELAT

1 : 300

KODE GAMBAR

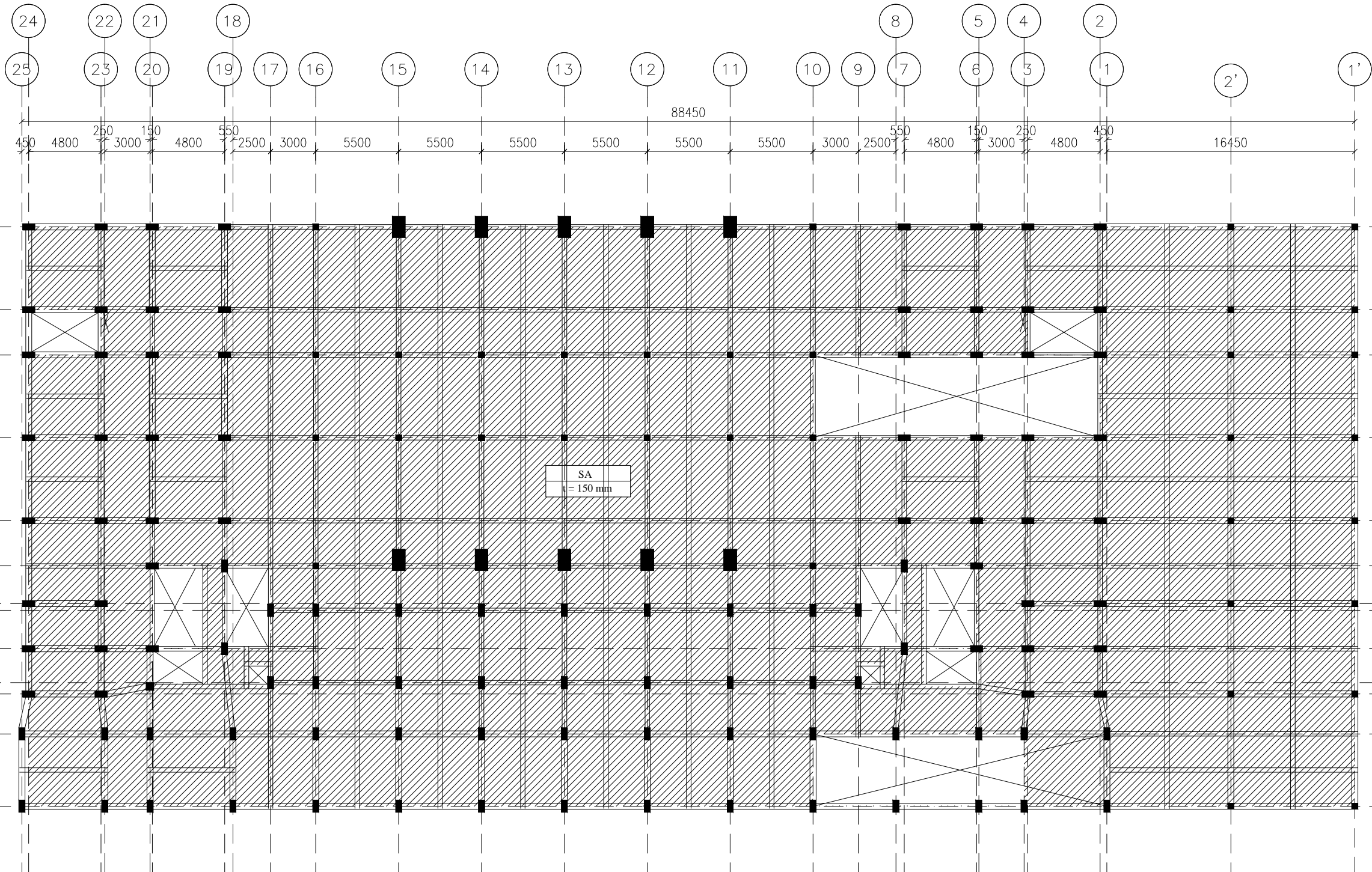
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

09

21



DENAH PELAT LT.3 - LT.4 (t = 150 mm)
SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
PELAT

1 : 300

KODE GAMBAR

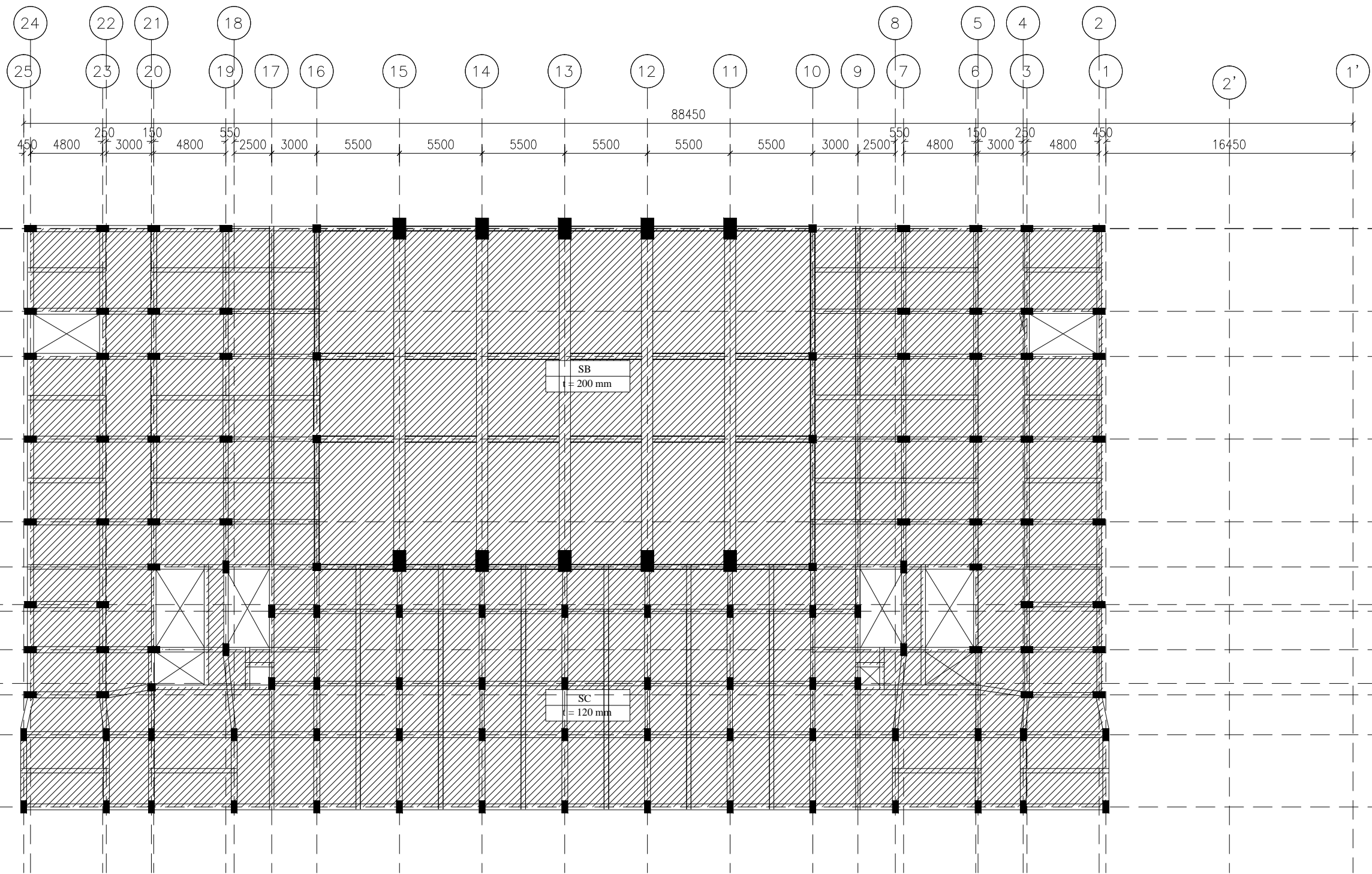
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

10

21



DENAH PELAT LT.5 (t = 120 mm dan t = 200 mm)

SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
PELAT

1 : 300

KODE GAMBAR

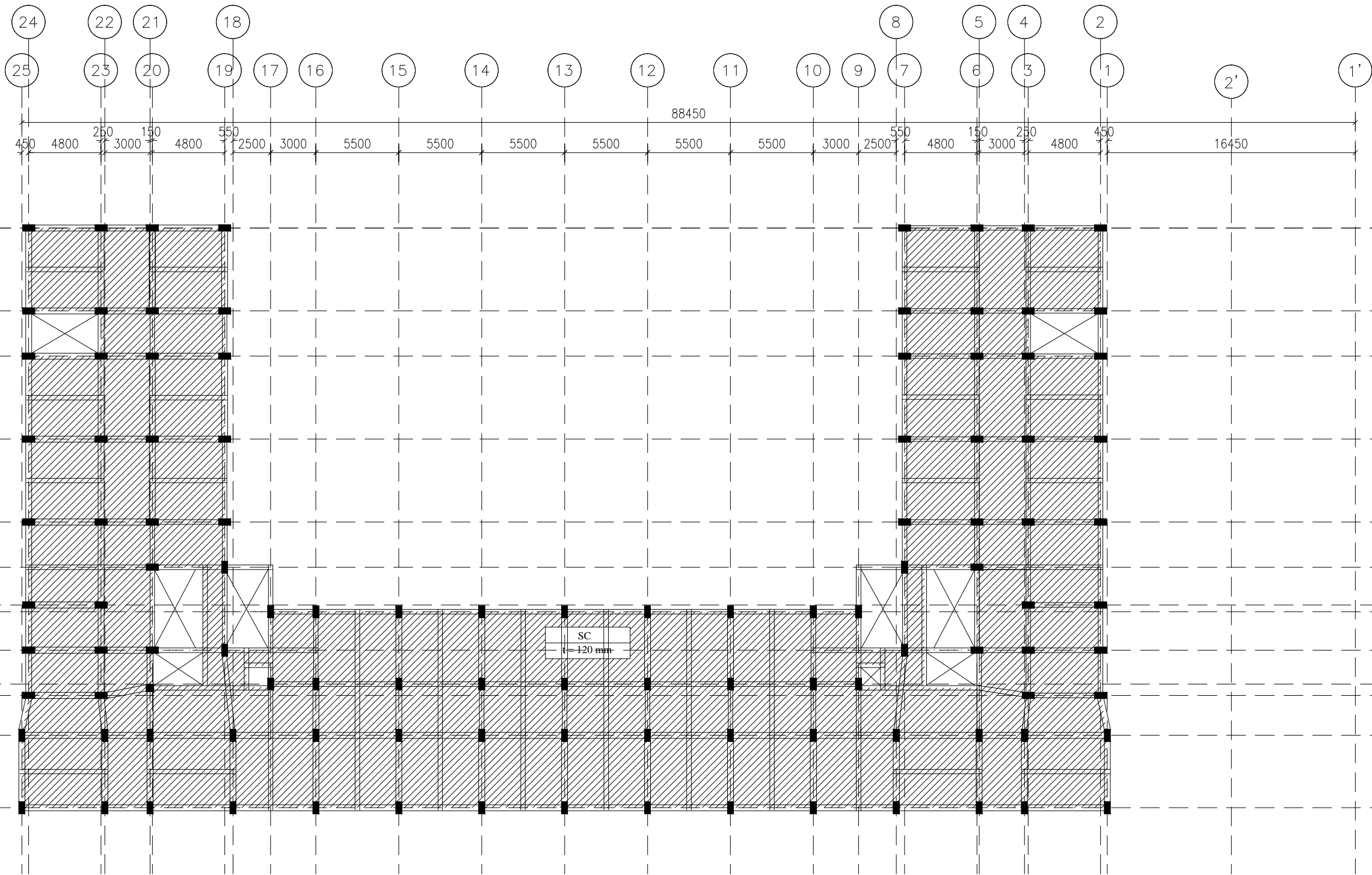
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

11

21



DENAH PELAT LT.6 - LT.13 (t = 120 mm)

SKALA 1:300



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , f_c = 30 MPa
- BALOK : K-350 , f_c = 30 MPa
- PELAT : K-350 , f_c = 30 MPa
- KOLOM : K-400 , f_c = 35 MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DENAH
PELAT

1 : 300

KODE GAMBAR

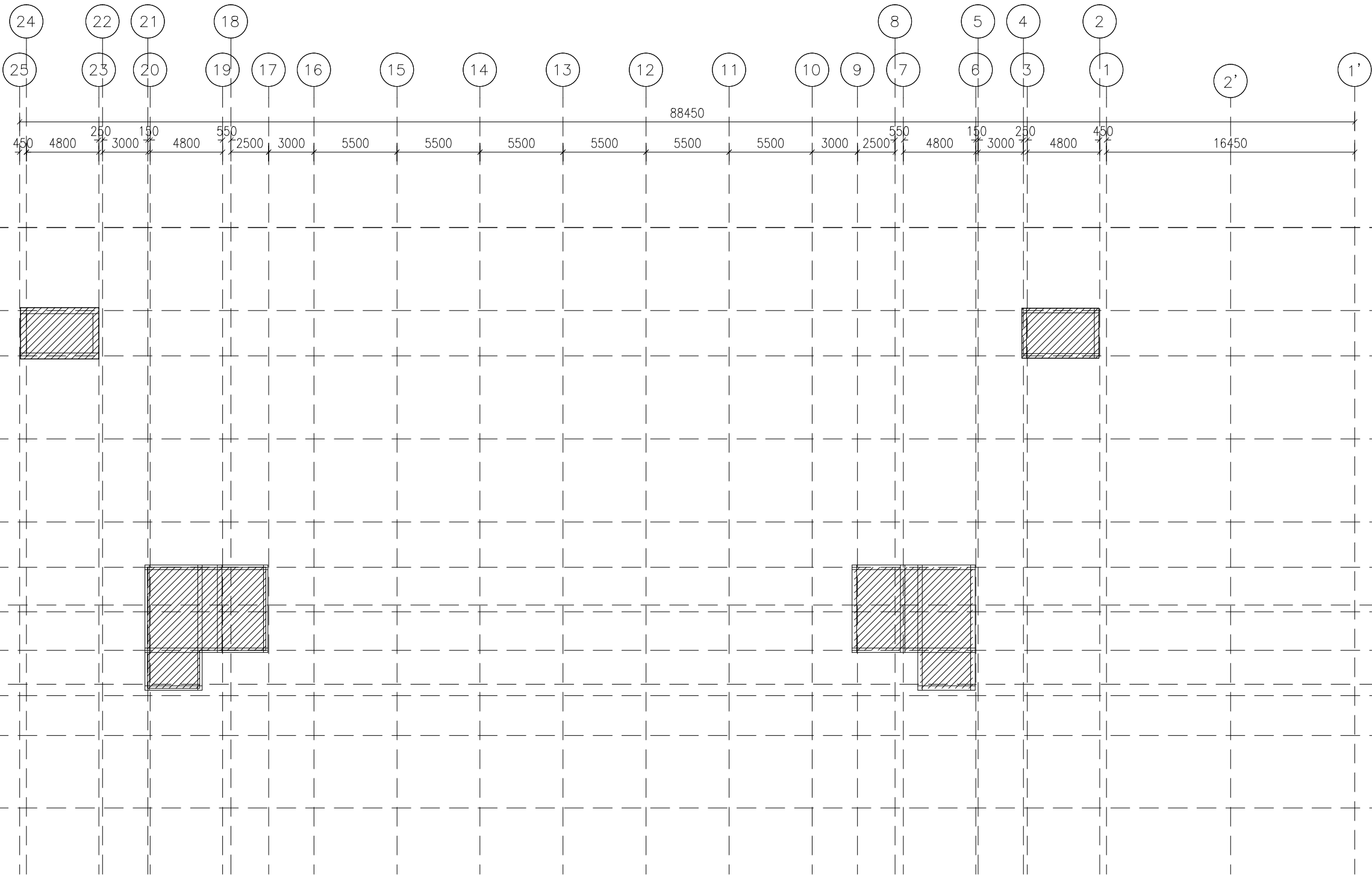
STR

NO LEMBAR

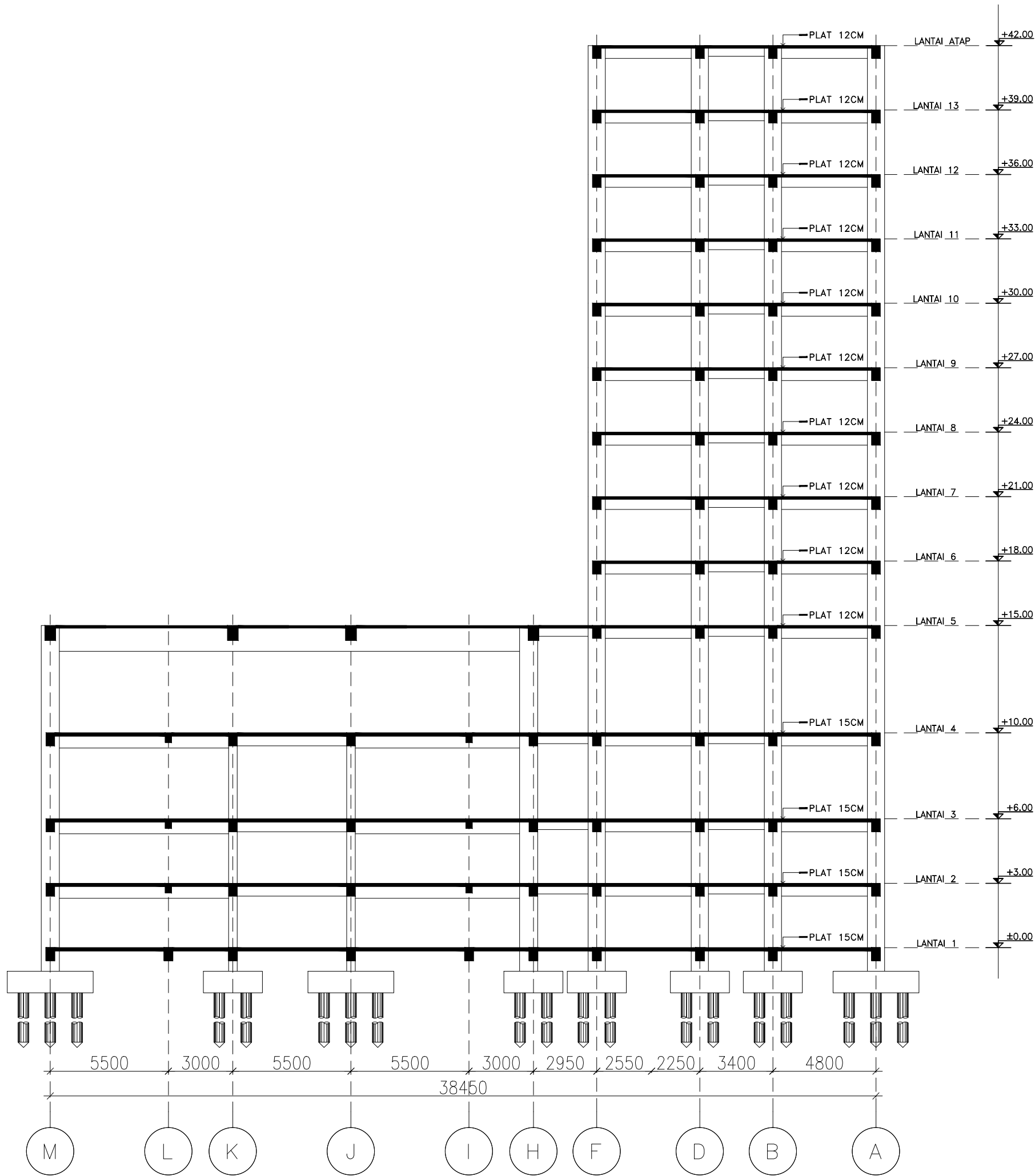
JML. LEMBAR

12

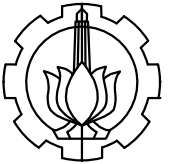
21



DENAH PELAT LT. ATAP (t = 120 mm)
SKALA 1:300



POTONGAN AS 13
SKALA 1:200



DIPLOMA 4
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

- SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
- MUTU BETON :
 - SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
 - BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
 - PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
 - KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

POTONGAN

SKALA

1 : 200

KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

13

JML. LEMBAR

21

PENULANGAN BALOK

JENIS BALOK	SL		B1		B2		B3		B4		BA1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	400 / 600		500 / 700		400 / 600		350 / 500		350 / 500		300 / 450	
PENAMPANG												
MUTU BETON	fc' 30		fc' 30		fc' 30		fc' 30		fc' 30		fc' 30	
TUL. ATAS	5 D19		6 D19		4 D19		9 D19		6 D19		3 D19	
TUL. TENGAH	4 D13		4 D13		2 D13		2 D13		2 D13		2 D13	
TUL. BAWAH	4 D19		3 D19		2 D19		5 D19		3 D19		2 D19	
SENGKANG	D10 - 100		D10 - 200		D10 - 100		D10 - 100		D10 - 100		D10 - 100	

JENIS BALOK	BA2		BA3		BK1		BK2		BR	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	300 / 450		300 / 450		500 / 700		300 / 500		400 / 600	
PENAMPANG										
MUTU BETON	fc' 30		fc' 30		fc' 30		fc' 30		fc' 30	
TUL. ATAS	3 D19		6 D19		14 D19		4 D19		5 D19	
TUL. TENGAH	2 D13		4 D13		6 D13		2 D13		4 D13	
TUL. BAWAH	2 D19		3 D19		7 D19		2 D19		4 D19	
SENGKANG	D10 - 100		D10 - 200		D10 - 100		D10 - 100		D10 - 100	

PENULANGAN KOLOM

JENIS BALOK	K1		K2		K3		K4		KR	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	500 / 800		500 / 500		850 / 850		500 / 500		400 / 400	
PENAMPANG										
MUTU BETON	fc' 35		fc' 35		fc' 35		fc' 35		fc' 35	
TUL. UTAMA	16 D22		24 D22		24 D22		12 D22		4 D22	
SENGKANG	D13 - 100		D13 - 150		D13 - 100		D13 - 100		D13 - 100	



DIPLOMA 4
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

- SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
- MUTU BETON :
 - SLOOF : K-350 , fc = 30 MPa
 - BALOK : K-350 , fc = 30 MPa
 - PELAT : K-350 , fc = 30 MPa
 - KOLOM : K-400 , fc = 35 MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL
PENULANGAN
BALOK dan
KOLOM (R)

1 : 25

KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

14

21



KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL
PENULANGAN
MEMANJANG
BALOK

1 : 30

KODE GAMBAR

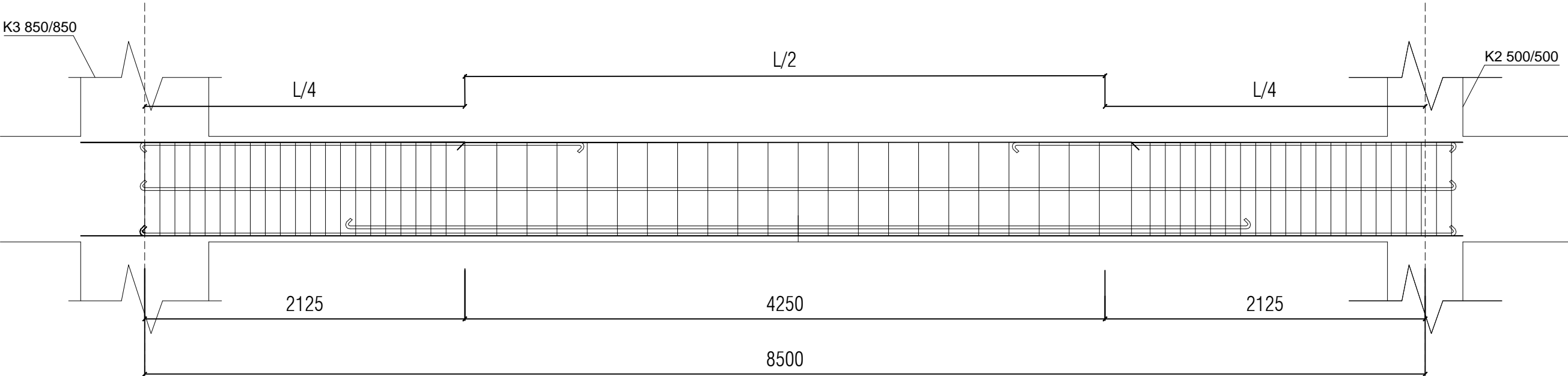
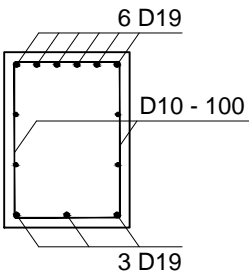
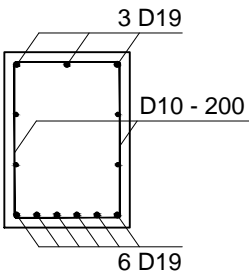
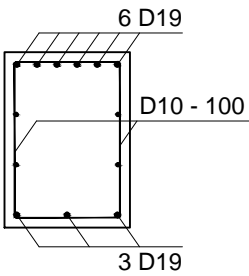
STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

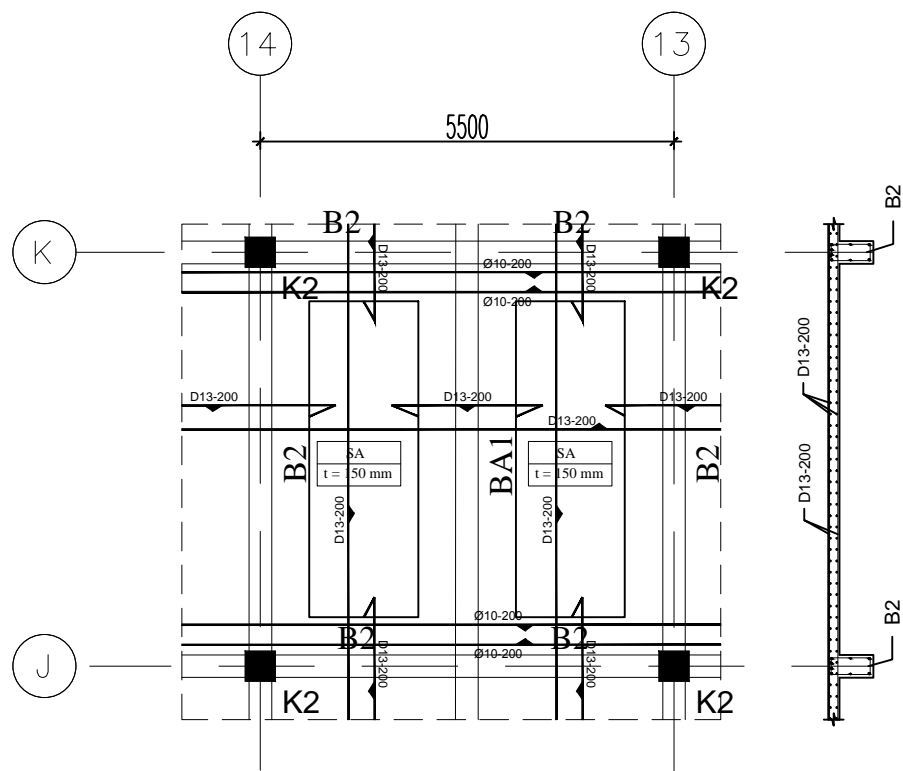
15

21

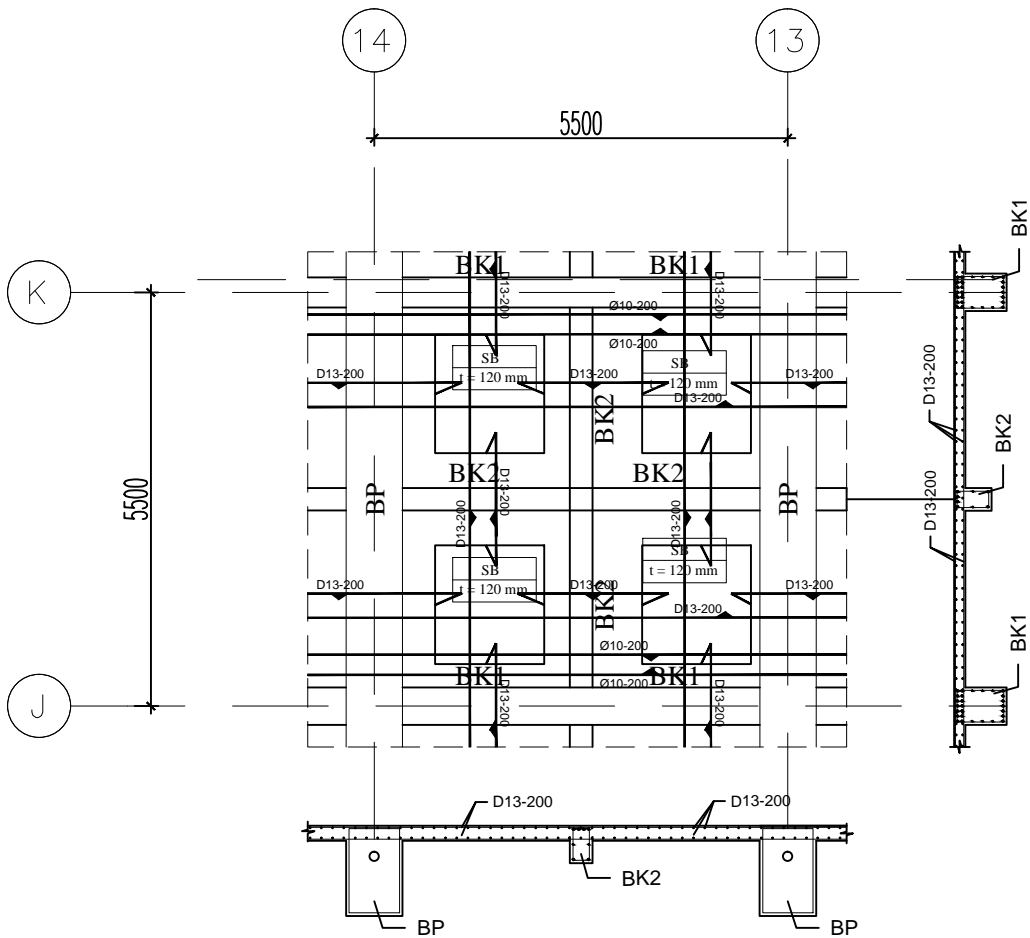


DETAIL PENULANGAN B1 (50/70)

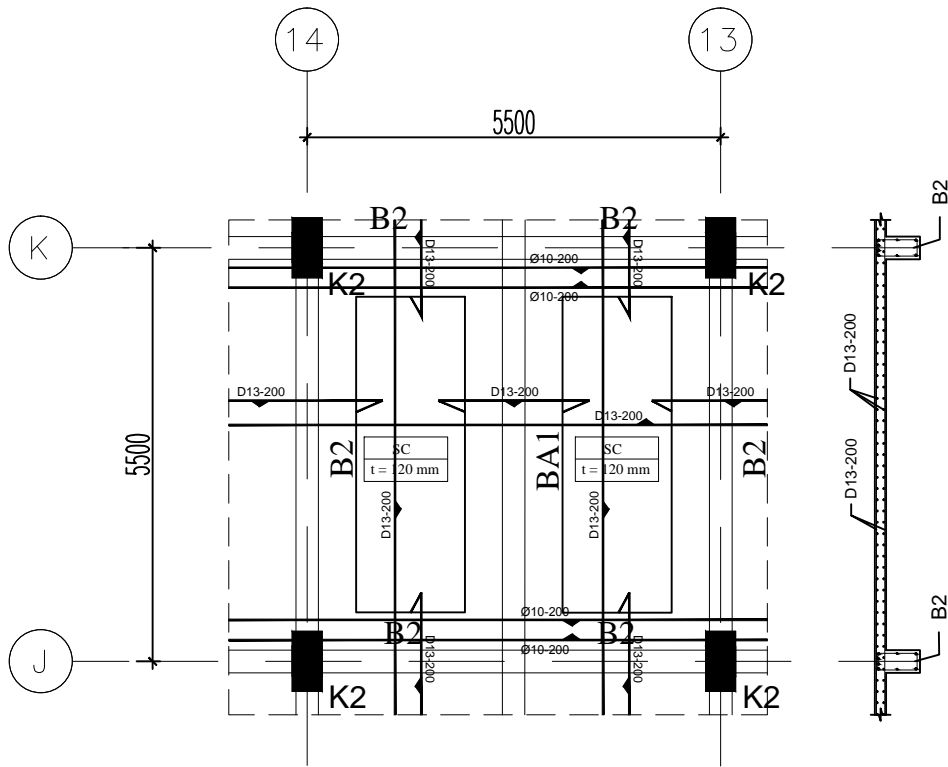
SKALA 1:30



DETAIL PENULANGAN PELAT SA
SKALA 1:100



DETAIL PENULANGAN PELAT SB
SKALA 1:100



DETAIL PENULANGAN PELAT SC
SKALA 1:100



DIPLOMA 4
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KETERANGAN

1. SEMUA DIMENSI DALAM SATUAN MILIMETER
2. MUTU BETON :
- SLOOF : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- BALOK : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- PELAT : K-350 , $f_c = 30$ MPa
- KOLOM : K-400 , $f_c = 35$ MPa

REVISI

JUDUL TUGAS

TUGAS AKHIR

DOSEN PEMBIMBING

RIDHO BAYUAJI, ST., MT. PhD
NIP. 19730710 199802 1 002

MAHASISWA

TRIA CIPTADI
NRP. 3116 040 530

JUDUL GAMBAR

SKALA

DETAIL
PENULANGAN
PELAT DAN
BALOK

1 : 25

KODE GAMBAR

STR

NO LEMBAR

JML. LEMBAR

16

21

BIOGRAFI PENULIS



TRIA CIPTADI

Penulis dilahirkan di Surabaya 14 Januari 1993. Merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Saraswati Surabaya, SD Negeri Semolowaru II/262 Surabaya, SMP Negeri 30 Surabaya, SMA Negeri 14 Surabaya dan melanjutkan pendidikan di Program Studi DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya

bidang konsentrasi Bangunan Gedung yang ditempuh selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2014. Setelah lulus dari DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya penulis melanjutkan pendidikan Diploma IV di Program Studi Lanjut Jenjang Diploma IV Teknik Sipil FV - ITS pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP. 3116 040 530. Apabila ada yang ingin ditanyakan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis pada alamat email berikut triaciptadi@gmail.com.